



**Rodrigo Medeiros Análise do desempenho técnico e ambiental de uma
Martinho infra-estrutura de gestão de resíduos - Caso de
estudo**



**Rodrigo Medeiros
Martinho**

**Análise do desempenho técnico e ambiental de uma
infra-estrutura de gestão de resíduos - Caso de
estudo**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

“A verdadeira viagem de descoberta não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”

Marcel Proust (1871-1922)

O júri

Presidente

Professora Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
(Orientador)

Professor Doutor Fernando José Neto da Silva

Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro
(Arguente)

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao, Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, orientador da tese, por todo o apoio, disponibilidade, conhecimento transmitido, pelas críticas e opiniões, pela colaboração em solucionar dúvidas surgidas ao longo da elaboração da tese.

À minha família, aos meus pais e irmã, o meu especial agradecimento por serem modelos de coragem, por toda a confiança depositada em mim e no meu trabalho, pelo apoio incondicional, amizade, incentivo durante todos estes anos do meu percurso académico e por todos os ensinamentos da vida.

À namorada Susana Freitas, pelo apoio, pela confiança, por tudo, sendo um grande pilar na vida durante estes 5 anos.

À instituição T.U.S.A. “Tuna Universitas Scientiarum Agrariarum”, pelos valores transmitidos ao longo deste percurso académico.

Não podia deixar também de agradecer aos meus amigos e colegas pelo apoio, partilha, companheirismo e amizade, em especial ao Tiago Fraga, Raquel Bulhões e Catarina Sousa companheiros da vida académica.

O meu profundo e sentido agradecimento a todas estas pessoas.

palavras-chave

gestão de resíduos, incineração, resíduos perigosos, resíduos hospitalares, gestão de infraestruturas ambientais, métricas em gestão de resíduos

resumo

Este estudo tem como objeto a análise do desempenho técnico e ambiental de uma infraestrutura de incineração de resíduos, a partir da informação disponível relativa à infraestrutura e à exploração tendo em vista a análise das condições de operação, o consumo de matérias-primas, a produção de energia e as emissões tendo em conta a seleção de métricas de avaliação de desempenho.

Para o efeito referido foi efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre critérios legais de exploração estabelecidos na legislação e na licença de exploração; a análise das condições de operação e a seleção de métricas de avaliação de desempenho operacionais e ambientais. Para o efeito de análise comparada, foi aplicado um modelo de balanço mássico e o balanço energético, em condições de estado estacionário. Para este efeito foram estabelecidas valores médios em base diária.

A aplicação do modelo de avaliação de desempenho objeto deste estudo tem por base um caso de estudo relativo a uma incineradora de resíduos hospitalares e de matadouro com uma capacidade de tratamento de 0,5 t/h operando em contínuo mas apenas durante dezasseis horas diárias de alimentação de resíduos sob a forma de cargas. A adição de combustível auxiliar ocorre durante o arranque da instalação e durante os períodos noturnos sem alimentação de resíduos ou sempre que o poder calorífico dos resíduos assim o justifique. A operação da instalação encontra-se monitorizada em contínuo.

As métricas de avaliação relativas à operação mostram que a instalação cumpre os valores de garantia no que respeita a: resíduos tratados, utilização de eletricidade, utilização de água e utilização de combustível auxiliar. Ao contrário, o consumo de leite cal não cumpre com o valor garantia.

No âmbito das variáveis operacionais e tendo em conta um período de análise de duas semanas pode concluir-se que as condições operatórias respeitam o Manual de Operação, nomeadamente temperaturas e cargas de resíduos. A utilização de recursos consumo de energia elétrica, água de processo e ureia cumpre os valores garantidos. Já o consumo de cal e de combustível auxiliar excede os valores garantidos

Contudo com base na análise dos valores instantâneos do caudal de gases, verifica-se a ocorrência de situações de incumprimento do tempo mínimo de residência de 2 segundos na câmara de combustão secundária estabelecido na legislação.

No que respeita às métricas ambientais (emissões para o ambiente). Os valores médios de emissão para NO_x, HCl, HF, COT, SO₂, NH₃ e partículas estão de acordo com o estabelecido na lei. Contudo a instalação não cumpre de facto os valores limite estabelecidos para as emissões de CO.

keywords

waste management, incineration, hazardous wastes, healthcare wastes, environmental infrastructures, metrics on waste management

abstract

This study has as object the analysis of the technical and environmental performance of a waste incineration process, from the available information on an infrastructure and its exploitation, in order to analyze the operating conditions, the consumption of raw materials, the energy production and emissions taking into account the selection of performance evaluation metrics.

For that purpose a literature search on legal criteria of exploitation established in legislation and operating license was made; the analysis of the operating conditions and the selection of metrics evaluation of operational and environmental performance. For comparative analytical purposes, it applied a mass and energy balance model in steady state conditions. For this purpose average values were established on a daily basis.

The application of the model evaluation is based on a case study concerning an incinerator healthcare waste and slaughterhouse with a treatment capacity of 0.5 t / h operating continuously but only for sixteen hours a day waste feeding in the form of batches. The addition of auxiliary fuel occurs during the start of the installation and during the night periods without waste feeding or when the calorific value of the waste so justifies. The installation operation is monitored continuously.

The evaluation metrics relating to the operation show that the plant meets the ensuring values in respect of: treated waste, electricity usage, use of water and use of auxiliary fuel. By contrast, the consumption of lime does not comply with the guarantee value.

Considering the operational variables and given a two-week evaluation period it can be concluded that the operating conditions referred in the Operation Manual were observed, especially temperatures and waste batches feeding rate. The use of resources consumption of electricity, process water and urea complies with the guaranteed values. The consumption of lime and auxiliary fuel exceeds the guaranteed values, what increases operation costs.

However based on the analysis of the instantaneous values of the flue gas flow rate, it can be concluded that there are peaks. In these conditions the minimum residence time of 2 seconds established by the law in the secondary combustion chamber fails.

With regard to environmental metrics (emissions to the environment), the average emission values for NO_x, HCl, HF, TOC, SO₂, NH₃ and particles are in accordance with the provisions of law. However, the installation fails another away because of the limit values for CO.

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas	xi
Nomenclatura	xiii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento legal da gestão de resíduos	2
1.1.1 Legislação como ferramenta de gestão	3
1.1.2 Estratégias de gestão	3
1.1.3 Gestão de resíduos perigosos	4
1.2 Gestão de resíduos hospitalares	6
1.2.1 Classificação dos resíduos hospitalares	6
1.2.1.1 Resíduos do grupo I (resíduos hospitalares equiparados a resíduos urbanos) ..	7
1.2.1.2 Resíduos do grupo II (resíduos hospitalares não perigosos)	7
1.2.1.3 Resíduos do grupo III (resíduos hospitalares de risco biológico)	7
1.2.1.4 Resíduos do grupo IV (resíduos hospitalares específicos)	8
1.2.2 Operações de gestão de resíduos hospitalares	8
1.2.2.1 Acondicionamento, recolha e transporte	9
1.2.2.2 Tratamento	10
1.2.2.3 Eliminação	11
1.3 Gestão de resíduos de produção e abate de animais	12
1.3.1 Classificação de subprodutos de animais	13
1.3.1.1 Matérias da categoria 1	13
1.3.1.2 Matérias da categoria 2	14
1.3.1.3 Matérias da categoria 3	14
1.3.2 Operações de gestão de resíduos e subprodutos de animais	15
1.3.2.1 Recolha, transporte, tratamento, armazenagem e expedição	15
1.3.2.2 Tratamento de subprodutos animais	16
1.4 Tratamento termoquímico de resíduos	18
1.4.1 Incineração de resíduos	19
1.4.2 Incineração de resíduos perigosos	23
1.4.3 Emissões gasosas da incineração de resíduos hospitalares	24
1.5 Objetivos e organização do presente trabalho	26
2 Metodologia de trabalho	27
2.1 Modelo de análise de processos	28
2.1.1 Tipos de processos	28
2.1.2 Especificações de processos	29

2.1.3	Monitorização de processos	29
2.1.4	Avaliação do modelo de desempenho de processos	29
2.2	Métricas de desempenho de processos de gestão de resíduos urbanos	30
2.2.1	Indicadores de adequação da interface com o utilizador	31
2.2.2	Indicadores de sustentabilidade operacional	31
2.2.3	Indicadores de sustentabilidade ambiental	32
2.3	Seleção de indicadores para avaliação de uma unidade de incineração de resíduos... ..	32
2.3.1	Indicadores ambientais	32
2.3.2	Indicadores de gestão do serviço	33
2.3.3	Indicadores operacionais	33
2.4	Infraestruturas de gestão de resíduos	33
2.4.1	Licenciamento ambiental	34
2.4.2	Caderno de Encargos	34
2.4.3	Articulação e disposição processual da infraestrutura (layout)	34
2.4.4	Manual de operação	35
2.4.5	Registos de operação	35
2.5	Modelo termodinâmico de análise do processo de incineração	36
2.5.1	Balanço mássico	36
2.5.1.1	Reagentes de incineração	37
2.5.1.2	Excesso de ar (z)	37
2.5.1.3	Produtos de incineração	38
2.5.2	Balanço de energia	40
2.6	Métricas de avaliação de desempenho de unidades de incineração	43
2.6.1	Métricas de operação	43
2.6.1.1	Quantidade de resíduos tratados	43
2.6.1.2	Consumo de combustível auxiliar	43
2.6.1.1	Consumo de água	43
2.6.1.2	Consumo de ureia	43
2.6.1.3	Consumo de hidróxido de cálcio	43
2.6.1.4	Utilização de eletricidade	44
2.6.1.5	Número de trabalhadores	44
2.6.1.6	Recuperação de energia	44
2.6.2	Métricas ambientais	44
3	Caso de estudo	45
3.1	Caracterização geral da instalação	45
3.2	Condições de operação	46
3.2.1	Admissão de resíduos	47
3.2.1.1	Caracterização de resíduos hospitalares	47
3.2.1.2	Caracterização de resíduos de matadouro	48

3.2.2	Incineração	49
3.2.3	Recuperação de energia	50
3.2.4	Tratamento de efluentes gasosos	51
3.2.4.1	Remoção de NOx	51
3.2.4.2	Remoção de gases ácidos.....	53
3.2.4.3	Remoção de partículas	54
3.2.5	Controlo de resíduos sólidos de incineração	54
3.2.5.1	Extração e tratamento de escórias	54
3.2.5.2	Controlo de resíduos produzidos	55
3.2.6	Estação de medição de emissões.....	55
3.3	Valores garantia (in protocolo de exploração)	56
3.3.1	Valores garantia de emissões	56
3.3.2	Valores garantia de consumíveis (in protocolo de exploração)	57
3.4	Melhores técnicas disponíveis (BREF)	57
3.5	Controlo do processo de alimentação de resíduos	58
3.5.1	Resíduos hospitalares	58
3.5.2	Resíduos de matadouro	59
3.6	Modelo de exploração.....	59
3.6.1	Resíduos hospitalares	59
3.6.2	Resíduos matadouro	59
3.7	Utilização de consumíveis no processo.....	60
3.8	Dificuldades operatórias	61
4	Resultados	63
4.1	Dados de exploração - Metadados	63
4.1.1	Registos	64
4.1.2	Dados selecionados e justificação	65
4.1.3	Conversão de dados e organização da informação	65
4.1.4	Procedimentos de tratamento de dados.....	65
4.2	Modelo termodinâmico.....	66
4.2.1	Caracterização de resíduos.....	66
4.2.2	Balanços de massa e de energia	68
4.2.3	Utilização de materiais auxiliares	68
4.3	Procedimento de análise	69
4.3.1	Resultados médios	69
4.3.2	Resultados instantâneos	70
4.4	Análise geral da exploração.....	71
4.4.1	Registos instantâneos	71
4.4.1.1	Período noturno	71
4.4.1.2	Período diurno com incineração de RH.....	72

4.4.1.3	Período diurno com incineração de RM.....	73
4.5	Resultados de exploração (médias de períodos)	74
4.5.1	Linha 32	75
4.5.2	Linha 31	78
4.5.3	Utilização diária de eletricidade RH/RM	81
4.5.4	Consumo médio de gásóleo/RH/RM	82
4.6	Análise dos resultados de exploração	83
4.6.1	Cargas de resíduos	83
4.6.2	Temperaturas de incineração	84
4.6.3	Tempo de residência dos gases na câmara de combustão secundária	84
4.7	Resultados de exploração: Métricas ambientais	85
4.7.1	Linha 32 - Emissões	86
4.7.1	Linha 31 – Emissões	89
4.8	Análise das emissões de CO por método de referência (MR)	92
4.9	Métricas ambientais – Emissões diárias.....	93
4.9.1	Valores médios diários linha 32.....	94
4.9.2	Valores médios diários L31	95
4.10	Métricas de operação.....	96
4.10.1	Resíduos tratados.....	96
4.10.2	Utilização de eletricidade	96
4.10.3	Utilização de água	96
4.10.4	Utilização de combustível auxiliar.....	97
4.10.5	Consumo de ureia	98
4.10.6	Consumo de hidróxido de cálcio.....	99
4.10.7	Número de trabalhadores	100
4.10.8	Produção de vapor	100
5	Conclusões e sugestões.....	103
5.1	Conclusões.....	103
5.2	Limitações do trabalho	105
5.3	Sugestões para trabalho futuro.....	105
	Referências bibliográficas	107
	Anexo A – Métricas de desempenho na gestão de resíduos.....	111
	Anexo B - Gamas de monitorização.....	113
	Anexo C – Monitorização de emissões para a atmosfera.....	115
	Anexo D – Valores de emissão de poluentes para a atmosfera (BREF)	119
	Anexo E – Metadados dos registos de operação	123
	Anexo F – Operação da instalação para o período noturno (entre as 2:00 e a 3:00 horas)	127
	Anexo G – Operação da instalação para incineração de RH (entre as 14:00 e as 15:00 horas, do dia 2) (L32)	133

Anexo H – Operação da instalação para a incineração de RM no período diurno (entre as 18:00 e as 19:00 horas, do dia 4) (L32)	143
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Diagrama do processo da IIRHM.....	46
Figura 3.2 - Composição (%) dos resíduos hospitalares (Fraiwan et al., 2013)	48
Figura 3.3 - Composição (%) dos resíduos perigosos (Taghipou and Mosaferi, 2008)	48
Figura 4.1 – Consumo de eletricidade durante a semana (linha 32)	82
Figura 4.2 – Consumo de combustível auxiliar (linha 32)	83
Figura 4.3 – Consumo de combustível auxiliar (linha 31)	83
Figura 4.4 – Temperatura da câmara de incineração secundária (L32)	84
Figura 4.5 – Temperatura da câmara de incineração secundária (L31)	84
Figura 4.6 - Valores médios de emissão de HCl a intervalos de 30 minutos (L32)	86
Figura 4.7 - Valores médios de emissão de NOx (L32)	86
Figura 4.8 - Emissão de CO (médias de 10 minutos) (L32)	87
Figura 4.9 – Emissão de CO (médias de 30 minutos)	87
Figura 4.10 – Emissão de SO ₂ (médias de 30 minutos)	88
Figura 4.11 – Emissão de Partículas (médias de 30 minutos)	88
Figura 4.12 – Emissão de COT (médias de 30 minutos)	88
Figura 4.13 – Emissão de HF (médias de 30 minutos)	89
Figura 4.14 – Emissão de HCl (médias de 30 minutos)	89
Figura 4.15 – Emissão de NOx (médias de 30 minutos)	90
Figura 4.16 – Emissão de CO (médias de 10 minutos)	90
Figura 4.17 – Emissão de CO (médias de 30 minutos)	90
Figura 4.18 – Emissão de SO ₂ (médias de 30 minutos)	91
Figura 4.19 – Emissão de Partículas (médias de 30 minutos)	91
Figura 4.20 – Emissão de COT (médias de 30 minutos)	92
Figura 4.21 – Emissão de HF (médias de 30 minutos)	92
Figura 4.22 – Emissão de CO (médias de 10 minutos) por método de referência (Linha 32)	93
Figura 4.23 – Emissão de CO (médias de 30 minutos) por método de referência (Linha 32)	93
Figura 4.24 – Emissão de CO (médias de 10 minutos) por método de referência (Linha 31)	93
Figura 4.25 – Emissão de CO (médias de 30 minutos) por método de referência (Linha 31)	93

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Valores garantia de emissões.....	57
Tabela 3.2 – Valores garantia de consumíveis	57
Tabela 4.1 – Composição elementar dos resíduos de matadouro (RM)	67
Tabela 4.2 – Teor de humidade e PCI dos resíduos de matadouro	67
Tabela 4.3 – Composição elementar dos resíduos hospitalares (RH) e do polietileno de embalagem (PE).....	67
Tabela 4.4 – Teor de humidade e PCI dos resíduos hospitalares	67
Tabela 4.5 – Períodos de análise diária definidos para a L32	76
Tabela 4.6 - Resultados observados vs resultados do exercício de balanço mássicos referentes à operação da linha L32.....	77
Tabela 4.7 - Uso de recursos da linha 32	78
Tabela 4.8 – Períodos de análise definidos para a linha 31	78
Tabela 4.9 – Resultados observados vs resultados do exercício de balanço mássico referentes à operação da linha 31	80
Tabela 4.10 - Uso de recursos da linha 31	81
Tabela 4.11 – Consumo de eletricidade da linha 32.....	82
Tabela 4.12 – Valores de emissões- Médias diárias (L32)	95
Tabela 4.13 – Valores de emissões- Médias diárias (L31)	95

Lista de Abreviaturas

APA	- Agência Portuguesa do Ambiente
COT	- Carbono Orgânico Total
CE	- Comissão Europeia
COVS	- Compostos Orgânicos Voláteis
DCS	- Data Control System
EET	- Encefalopatia Espongiforme Transmissível
EU	- União Europeia
IIRHM	- Instalação de Incineração de Resíduos Hospitalares e de Matadouro
PERH	- Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares
PERSU	- Plano Estratégico dos Resíduos Urbanos
PESGR	- Plano Estratégico dos Resíduos Industriais
RH	- Resíduos Hospitalares
RM	- Resíduos de Matadouro
RU	- Resíduos Urbanos
VLE	- Valor Limite de emissão

Nomenclatura

cp_j	- Calor específico médio referente à espécie i ente T^0 e T	[J/kg.K]
C_{LC}	- Concentração de leite cal na solução de leite cal em massa	[%]
C_U	- Concentração da ureia na da solução de ureia em massa	[%]
$C_{H_2O,U}$	- Consumo de água no processo de injeção de ureia	[L]
$C_{H_2O,LC}$	- Consumo de água no processo de leite cal	[L]
$C_{H_2O,DG}$	- Consumo de água no arrefecimento do depurador de gases	[L]
$C_{H_2O,c1^0}$	- Consumo de água no arrefecimento da câmara de combustão primária processo de injeção de ureia	[L]
ΔH_s	- Calor sensível	[J /kg R base seca]
ΔH_L	- Calor latente	[J /kg R base seca]
h_{j,wv,T^0}	- Calor latente de vaporização da água	[J/kg j]
ΔH_R	- Calor de reação	[J /kg R base seca]
I_B	- Métrica do consumo de água por tonelada de resíduo tratado em base tal e qual	[kg H ₂ O/ton H btq]
I_W	- Métrica da quantidade de resíduo em base tal e qual tratado por semana	[ton H btq/semana]
I_T	- Métrica do consumo de eletricidade semanal	[kW/semana]
I_{TW}	- Métrica do consumo de eletricidade por tonelada de resíduos tratado em base tal e qual	[kW/semana]
I_{FW}	- Métrica do consumo de combustível auxiliar por tonelada de resíduo tratado em base tal e qual	[kg combustível/ton H btq]
I_F	- Métrica do consumo de combustível auxiliar	[kg combustível/semana]
I_{LC}	- Métrica do consumo de hidróxido de cálcio por tonelada de resíduo tratado em base tal e qual	[kg Ca(OH) ₂ /ton H btq]
I_U	- Métrica do consumo de ureia por tonelada de resíduo tratado em base tal e qual	[kg (NH ₂) ₂ CO/ ton H btq]
\overline{I}_{LC}	- Caudal médio da solução de leite cal num período t	[kg Ca(OH) ₂ /hora]
\overline{I}_U	- Caudal médio da solução de ureia num período t	[kg (NH ₂) ₂ CO)/hora]
L_{Fp}	- Leitura do contador de combustível auxiliar inicial	[kg]
L_{Ff}	- Leitura do contador de combustível auxiliar final	[kg]
L_{Tp}	- Leitura do contador de eletricidade auxiliar inicial	[kg]
L_{Tf}	- Leitura do contador de eletricidade auxiliar final	[kg]
M_{Wn}	- Carga instantânea de resíduos em base tal e qual	[ton H btq]]
\overline{M}_{Wt}	- Carga média de resíduos em base tal e qual num período t	[ton H btq/t]
PCI_i	- Poder calorífico do componente i em base seca	[MJ/kg i bs]
PCI_R	- Poder calorífico médio de uma mistura em base seca	[MJ/kg R bs]
P	- Pressão absoluta	[Pa]
P_{atm}	- Pressão atmosférica	[Pa]

R	- Constante dos gases perfeitos (= 8314 J.kmol ⁻¹ .K ⁻¹)	[J.kmol ⁻¹ .K ⁻¹]
T	- Temperatura absoluta	[K]
T ^o	- Temperatura fixada arbitrariamente	[K]
w _{iH}	- Fração mássica do componente i numa mistura H de n componentes em base tal e qua [kg i btq/kg H btq]	
w _{iR}	- Fração mássica do componente i bs numa mistura R em base seca	[kg i bs/kg R bs]
w _{iS}	- Fração mássica do componente i bssc numa mistura em base seca sem cinza [kg bssc/kg S bssc]	i
w _{wi}	- Fração mássica da humidade no componente i em base tal e qual	[kg H ₂ O/kg i btq]
W _{wi}	- Razão mássica da humidade no componente i em base seca	[kg H ₂ O/kg i bs]
w _{wH}	- Fração mássica da humidade numa mistura em base tal e qual	[kg H ₂ O/kg H btq]
W _{wR}	- Razão mássica da humidade numa mistura em base seca	[kg H ₂ O/kg R bs]
w _{ji}	- Fração mássica do elemento químico j no componente i em base seca	[kg j/kg i bs]
w _{jR}	- Fração mássica do elemento químico j numa mistura em base seca	[kg j/kg R bs]
w _{jS}	- Fração mássica do elemento químico j numa mistura em base seca sem cinzas	[kg j/kg S bssc]
w _{CE}	- Fração mássica do carbono na escória em base seca	[kg C /kg E bs]
w _{ZR}	- Fração mássica das cinzas numa mistura em base seca	[kg Z/kg R bs]
w _{Zi}	-Fração mássica das cinzas no componente i em base seca	[kg Z/kg i bs]
ρ_{LC}	- Densidade de leite cal na solução	[kg/m ³]
ρ_U	- Densidade da ureia	[kg/m ³]
Subscriptos		
i	- Índice de componente (i=1,2,...m)	
j	- Índice de elemento químico ou composição próxima (C = carbono, O = oxigénio, H = hidrogénio, N = azoto, S = enxofre, Z = cinzas, W = humidade, B – Biodegradabilidade, SV – Sólidos)	
Δt	- Intervalo de tempo em horas	
t	- Período de tempo em horas	
H	- Mistura de resíduos em base tal e qual (btq)	
R	- Mistura de resíduos em base seca (bs)	
S	- Mistura de resíduos em base seca sem cinzas (bssc)	
V	- Produtos incinerados volantes secos	
E	- Produtos incinerados escória secos	
A	- Ar atmosférico	

1 INTRODUÇÃO

Existe uma acrescida necessidade de intervenção sobre os resíduos na sociedade moderna. Se, por um lado, o aumento da quantidade de resíduos produzidos anualmente é cada vez maior, podendo provocar uma evidente poluição visual se acumulados indistintamente, por outro lado, os resíduos podem ter impactos negativos para o meio ambiente e na saúde pública. Neste âmbito, os resíduos contendo substâncias perigosas deverão ter particular atenção dos responsáveis em particular e de todos os cidadãos em geral.

Antes da Segunda Guerra Mundial, não existiam programas ambientais reguladores e todos os tipos de resíduos eram despejados em rios ou em terrenos abertos, e muitas vezes queimados a céu aberto. A rápida industrialização a partir da Segunda Guerra resultou num grande aumento da quantidade de resíduos, fazendo com que o despejo inadequado de resíduos causasse muitos problemas de saúde pública e de degradação da qualidade ambiental e até acidentes mortais tais como os que ocorreram devido à contaminação com substâncias perigosas da água potável, explosões, envenenamento por contato direto, contaminação da cadeia alimentar e materiais reativos. (Saxena & Jotshi, 1996).

Em Portugal, nas últimas duas décadas, a gestão de resíduos tem sido alvo de crescente atenção, marcada pela regulamentação e financiamento da União Europeia (EU), que permitiram dotar o país de uma rede de infraestruturas de gestão de resíduos desenvolvida no âmbito de um modelo de gestão que teve em conta um quadro de responsabilidades baseado na origem dos resíduos: urbanos, hospitalares e industriais. (APA, 2015).

A atual gestão de resíduos, estabelece como prioridade a prevenção na produção de resíduos, seguida da reciclagem, valorização e incineração de resíduos e considera a deposição em aterro, uma solução de último recurso. (APA, 2015)

Os custos associados à deposição de resíduos em aterro são cada vez maiores devido à carência de espaço disponível, à preocupação em relação à contaminação de águas subterrâneas e às questões relacionadas com a saúde pública e ainda devido às medidas muito restritivas da regulamentação europeia (Diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros). Este conjunto de fatores, transformam a opção da incineração bastante atrativa como solução na gestão de

resíduos, tendo vindo a ser encarada como solução alternativa à deposição em aterro. (Russo, 2003)

Neste contexto, a incineração, ou o tratamento térmico, tem vindo a ser encarada como uma das soluções ambientalmente aceitáveis para tratamento de resíduos, nomeadamente para tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. (Matos, 2003)

Esta solução é particularmente eficaz na destruição de resíduos orgânicos perigosos e na redução do seu volume e peso, podendo serem utilizados como combustível em processos industriais. Igualmente relevante é a possibilidade de, através do calor gerado na combustão de resíduos, se poder produzir energia elétrica (Matos, 2003)

Tendo em conta a crescente apreensão provocada pelo aumento de instalações de unidades de incineração na Europa, a UE introduziu uma nova Diretiva (2000/76/EC) sobre incineração de resíduos de forma a proteger os cidadãos e o ambiente do impacte causado pelo aumento do número de unidades deste tipo. (APA, 2015)

Esta Diretiva, regulamenta a operação dos incineradores e co-incineradores de resíduos e limita a emissão de substâncias específicas. Esta ação legislativa pretende proteger os diferentes meios ambientais (ar, solo, águas superficiais e subterrâneas) e minimizar os riscos para a saúde pública resultantes da incineração de resíduos, implementando e mantendo dentro de condições operacionais restritas os requisitos técnicos. (APA, 2015)

Tendo em conta os riscos associados, a gestão de resíduos hospitalares e de resíduos associados à produção de carne para consumo humano exigem uma atenção muito particular dos responsáveis.

1.1 ENQUADRAMENTO LEGAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS

O quadro legislativo existente em matéria de gestão de resíduos resulta da evolução do direito europeu e dos conhecimentos científicos que se atingiram nesta área, relevando a importância da minimização da produção e assegurando a sua gestão sustentável. A regulamentação pretende refletir a noção de autossuficiência, do princípio da prevenção e da prevalência da valorização dos resíduos sobre a sua eliminação. No âmbito da valorização, estabeleceu-se uma preferência pela reutilização sobre a reciclagem e desta sobre a recuperação energética. (Matos, 2003).

De acordo com Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, lei-quadro de gestão de resíduos que estabelece o novo regime geral da gestão de resíduos. A gestão de resíduos consiste na recolha, no transporte, na valorização e na eliminação de resíduos,

incluindo a supervisão destas operações, a manutenção dos locais de eliminação no pós-encerramento, bem como as medidas adotadas na qualidade de comerciante ou corretor.

O objetivo principal da política de gestão de resíduos é evitar e mitigar os riscos para a saúde pública e para o ambiente, assegurando que a produção, a recolha e transporte, o armazenamento preliminar e o tratamento de resíduos, sejam realizados recorrendo a processos ou métodos que não sejam suscetíveis de gerar efeitos prejudiciais sobre o ambiente, nomeadamente poluição da água, do ar, do solo, afetação da fauna ou da flora, ruído, odores ou danos em quaisquer locais de interesse e ou na paisagem. (APA, 2015).

A Lista Europeia de Resíduos classifica os resíduos de acordo com a sua proveniência e com a atividade industrial que os origina (APA,2015). De acordo com o Decreto-Lei n.º 73/2011, os resíduos são classificados em resíduos urbanos, resíduos industriais, resíduos hospitalares (RH), resíduos perigosos e em outros tipos de resíduos.

1.1.1 LEGISLAÇÃO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO

A legislação é uma componente essencial à gestão dos resíduos. Em face de objetivos ambientais, económicos e sociais, e nomeadamente de saúde pública, estabelecidos com base em níveis de bem-estar a usufruir pela população, a matéria legal estabelece as metas e as normas que cabe respeitar pelos diferentes intervenientes, desde os organismos administrativos, aos produtores de resíduos nas diferentes atividades, às entidades responsáveis pela gestão e às entidades de fiscalização. (DGA,2000)

1.1.2 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO

Em Portugal, as orientações estratégicas para os resíduos foram realizadas em vários planos específicos, nomeadamente o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU), o Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares (PERH) e o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI). (APA, 2015).

Estas orientações decorrem em larga medida das orientações da EU para o assunto, nomeadamente as que respeitam às metas de gestão. (Matos, 2003)

Este quadro tem vindo a evoluir em função da estratégia europeia que aponta para a construção de uma economia circular, em substituição de uma economia linear. O conceito de economia circular constitui uma resposta ao desejo de um crescimento

sustentável no contexto da pressão crescente que a produção e o consumo exercem sobre o ambiente e os recursos mundiais, em suma de modo a entender melhor o conceito de economia circular, os produtos são concebidos intencionalmente para se ajustarem aos ciclos dos materiais e, como resultado, os materiais circulam de um modo que mantém o valor acrescentado pelo máximo de tempo possível, tornando os produtos residuais praticamente inexistentes. (CE & DGA, 2015).

Até à data, a economia tem funcionado sobretudo com base num modelo linear de; recolha, produção e eliminação, segundo o qual todos os produtos alcançarão inevitavelmente o seu fim de vida útil. (CE & DGA, 2015).

A economia circular é consubstanciada na estratégia EUROPE 2020 - Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, lançada em 2010 para os dez anos seguintes, é a estratégia da União Europeia para o crescimento e o emprego. Esta estratégia visa não só a saída da crise, da qual as nossas economias estão a recuperar gradualmente, mas também colmatar as deficiências do nosso modelo de crescimento e criar condições para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. Neste âmbito as novas propostas apontam para um reforço das metas de gestão para vários dos fluxos de resíduos. (Proposta de Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho com a revisão dos objetivos das Diretivas 2008/98 / CE relativa aos resíduos, 94/62 / CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens, e 1999/31 / CE relativa à deposição de resíduos, que altera as Diretivas 2000/53 / CE relativa aos veículos em fim de vida, 2006/66 / CE relativa a pilhas e acumuladores e resíduos de pilhas e acumuladores, e 2012/19 / CE sobre os resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos. (CE & DGA, 2015).

1.1.3 GESTÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS

Designam-se resíduos perigosos todos aqueles que pela sua natureza contêm substâncias perigosas, tendo que apresentar uma ou mais características indicadas no anexo III do DL nº73/2011, sendo estas: tóxico, muito tóxico, nocivo, corrosivo, irritante, cancerígeno, tóxico para a reprodução, mutagénico e ecotóxico. A atribuição das características de perigosidade é feita com base nos critérios estabelecidos no anexo I do Regulamento (CE) n.º 1272/2008, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativo à classificação, rotulagem e embalagem das substâncias e misturas, que altera e revoga as Diretivas nº 67/548/CEE e 1999/45/CE, e altera o Regulamento (CE) n.º 1907/2006.

O facto de um resíduo conter alguma substância que seja considerada perigosa não significa que o mesmo também o seja. A classificação do resíduo como perigoso irá depender da perigosidade individual dos seus constituintes e da sua concentração, com exceção dos resíduos classificados em entradas absolutas, em que independentemente da concentração das substâncias perigosas que estão presentes no resíduo, os mesmos serão sempre classificados como resíduos perigosos. Em situações de dúvida, de acordo com o Princípio da Precaução deverá considerar-se que os resíduos em questão são resíduos perigosos. (APA, 2015)

De acordo com a (APA, 2015) no que respeita às características de perigosidade: facilmente inflamável, inflamável, irritante, nocivo, tóxico, cancerígeno, corrosivo, tóxico para reprodução e mutagénicos. Consideram-se que os resíduos classificados como perigosos apresentem uma ou mais das seguintes características:

- Ponto de inflamação $\leq 55^{\circ}\text{C}$,
- Uma ou mais substâncias classificadas, como muito tóxicas numa concentração total $\geq 0,1\%$,
- Uma ou mais substâncias classificadas como tóxicas numa concentração total $\geq 3\%$,
- Uma ou mais substâncias classificadas como nocivas numa concentração total $\geq 25\%$,
- Uma ou mais substâncias corrosivas da classe R35 numa concentração total $\geq 1\%$,
- Uma ou mais substâncias corrosivas da classe R34 numa concentração total $\geq 5\%$,
- Uma ou mais substâncias irritantes da classe R41 numa concentração total $\geq 10\%$,
- Uma ou mais substâncias irritantes das classes R36, R37, R38 numa concentração total $\geq 20\%$,
- Uma substância reconhecida como cancerígena das categorias 1 ou 2 numa concentração $\geq 0,1\%$,
- Uma substância reconhecida como cancerígena da categoria 3 numa concentração $\geq 1\%$,
- Uma substância tóxica para a reprodução das categorias 1 ou 2, das classes R60, R61, numa concentração $\geq 0,5\%$,
- Uma substância tóxica para a reprodução da categoria 3, das classes R62, R63, numa concentração $\geq 5\%$,

- Uma substância mutagénica das categorias 1 ou 2, da classe R46, numa concentração $\geq 0,1\%$,
- Uma substância mutagénica da categoria 3, da classe R40, numa concentração $\geq 1\%$.

A classificação e os números R remetem para a Diretiva 67/548/CEE relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas e suas conseqüentes alterações.

Os resíduos perigosos são produzidos essencialmente no sector industrial, mas também nos sectores da saúde, da agricultura, do comércio, dos serviços e até nas casas dos cidadãos. De acordo com (Couto, Silva, Monteiro, & Rouboa, 2013) os resíduos perigosos são os resíduos mais difíceis de serem controlados tendo em conta a dispersão com que são produzidos mas também o próprio processo de tratamento. Devido aos riscos que estes resíduos representam quer para o Homem quer para o meio ambiente, é imprescindível uma correta gestão dos mesmos.

1.2 GESTÃO DE RESÍDUOS HOSPITALARES

Os resíduos produzidos em unidades de prestação de cuidados de saúde pública ou privadas, incluindo os cuidados prestados durante as visitas domiciliárias, são designados como resíduos hospitalares, exigindo uma grande atenção das entidades responsáveis tendo em conta os custos de gestão que mas também os riscos ambientais e de saúde pública que alguns dos seus constituintes representam (DGS,2015).

No âmbito deste trabalho, importa referir que alguns dos resíduos produzidos em unidades prestadoras de saúde são considerados resíduos perigosos, pois apresentam uma ou mais das características de perigosidade constantes do anexo III do DL nº73/2011. No âmbito legal são considerados resíduos perigosos os resíduos contaminados ou suspeitos de contaminação (resíduos de risco biológico-grupo III) e os resíduos hospitalares específicos (grupo IV).

1.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS HOSPITALARES

Os resíduo hospitalares são os resíduos resultantes de atividades de prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou a animais, nas áreas da prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou investigação e ensino, bem como de outras atividades

envolvendo procedimentos invasivos, tais como acupunctura, piercings e tatuagens (DL 73/2001).

O vasto número de produtores de resíduos hospitalares relacionados com diferentes atividades económicas, leva a uma produção de resíduos de características diversas e específicas, não só no que se refere ao seu risco real, mas também ao nível de questões culturais e éticas, ou da simples perceção do risco. Estes resíduos são atualmente classificados em quatro grupos, em conformidade com o quadro legal em vigor, Grupo I - Resíduos equiparados a urbanos; Grupo II - resíduos hospitalares não perigosos; Grupo III – resíduos hospitalares de risco biológico; e Grupo IV – Resíduos hospitalares específicos. (DGS, 2015)

1.2.1.1 RESÍDUOS DO GRUPO I (RESÍDUOS HOSPITALARES EQUIPARADOS A RESÍDUOS URBANOS)

Os resíduos do Grupo I são sob o ponto de vista da sua natureza resíduos equiparados a resíduos urbanos que não apresentam exigências especiais no seu tratamento. Integram-se neste grupo, resíduos provenientes de serviços gerais; resíduos provenientes de serviços de apoio e resíduos provenientes da hotelaria resultantes da confeção e restos de alimentos servidos a doentes infecciosos ou suspeitos. (PERH,2011).

1.2.1.2 RESÍDUOS DO GRUPO II (RESÍDUOS HOSPITALARES NÃO PERIGOSOS)

São resíduos que não estão sujeitos a tratamentos específicos, podendo ser equiparados a urbanos. Incluem-se neste grupo, material ortopédico fraldas e resguardos descartáveis não contaminados e sem vestígios de sangue; material de proteção individual utilizado nos serviços gerais e de apoio, com exceção do utilizado na recolha de resíduos; embalagens vazias de medicamentos ou de outros produtos de uso clínico comum, com exceção dos incluídos nos grupos III e IV; frascos de soros não contaminados, com exceção dos do grupo IV. (PERH,2011).

1.2.1.3 RESÍDUOS DO GRUPO III (RESÍDUOS HOSPITALARES DE RISCO BIOLÓGICO)

São resíduos contaminados ou com suspeita de contaminação, suscetíveis de incineração ou de outro pré-tratamento eficaz, permitindo posteriormente ser eliminado como resíduo urbano. Inserem-se neste grupo, todos os resíduos provenientes de quartos ou enfermarias de doentes infecciosos ou suspeitos, de unidades de hemodiálise,

de blocos operatórios, de salas de tratamento, de salas de autópsia e de anatomia patológica, de patologia clínica e de laboratórios de investigação, com exceção dos do grupo IV; todo o material utilizado em diálise; peças anatómicas não identificáveis; resíduos que resultam da administração de sangue e derivados; sistemas utilizados na administração de soros e medicamentos, com exceção dos do grupo IV; sacos coletores de fluidos orgânicos e respetivos sistemas; material ortopédico contaminado ou com vestígios de sangue; material de prótese retirado a doentes, fraldas e resguardos descartáveis contaminados ou com vestígios de sangue; material de proteção individual utilizado em cuidados de saúde e serviços de apoio geral em que haja contacto com produtos contaminados. (PERH, 2011).

1.2.1.4 RESÍDUOS DO GRUPO IV (RESÍDUOS HOSPITALARES ESPECÍFICOS)

São resíduos de vários tipos de incineração obrigatória. Integram-se neste grupo, peças anatómicas identificáveis, fetos e placentas, até publicação de legislação específica; cadáveres de animais de experiência laboratorial; materiais cortantes e perfurantes: agulhas e todo o material invasivo; produtos químicos e fármacos rejeitados; quando não sujeitos a legislação específica; citostáticos e todo o material utilizado na sua manipulação e administração. (PERH, 2011).

1.2.2 OPERAÇÕES DE GESTÃO DE RESÍDUOS HOSPITALARES

Segundo a Direção Geral de Saúde (DGS) em Portugal, de acordo com o Despacho nº 242/96, publicado a 13 de Agosto, os resíduos pertencentes aos grupos I e II, portanto considerados não perigosos, podem, para efeitos de gestão ser equiparados a resíduos urbanos e assim serem contratualizados com os serviços municipais da área onde as instalações estão sedeadas, usufruindo ainda dos dispositivos de recolha seletiva para os fluxos que a legislação prevê.

Por outro lado, a gestão dos resíduos hospitalares pertencentes aos grupos III e IV só poderá ser efetuada por operadores devidamente autorizados em unidades devidamente legalizadas. Neste âmbito a Portaria nº 174/97, de 10 de Março estabelece as regras de instalação e funcionamento de unidades ou equipamentos de eliminação de resíduos hospitalares perigosos, bem como o regime de autorização da realização de operações de gestão de resíduos hospitalares por entidades responsáveis pela exploração das referidas unidades ou equipamentos.

Os resíduos pertencentes ao grupo III poderão ser sujeitos a um método de tratamento físico ou químico, como a autoclavagem ou a desinfecção química, ou sujeitos a incineração. Depois de pré-tratados estes resíduos podem ser eliminados como resíduos não perigosos.

No que concerne aos resíduos hospitalares do grupo IV são de incineração obrigatória em condições que deverão decorrer de acordo com o Decreto-Lei nº 85/2005, de 28 de Abril.

As operações de gestão que contemplam a separação, armazenamento, transporte, tratamento e eliminação final, são componentes essenciais a fim de reduzir os riscos para a saúde pública e ambientais causadas por um tratamento inadequado.

1.2.2.1 ACONDICIONAMENTO, RECOLHA E TRANSPORTE

A segregação é um passo muito importante na gestão de resíduos hospitalares. Se for feita segregação rigorosa permite reduzir cerca de 80% os resíduos com incineração obrigatória. (Alvim-Ferraz & Afonso, 2003)

A segregação deve ser efetuada no local de origem para contentores/sacos e depois alocados em locais apropriados que centralizam a recolha interna, seguido de embalagem e rotulagem de acordo com procedimento devidamente regulamentado internamente ao estabelecimento de prestação de cuidados de saúde. Os resíduos considerados não perigosos não devem ser coletados ao mesmo tempo que os resíduos perigosos (Chartier et al., 2014). De acordo com a OMS os resíduos perigosos que são gerados devem ser armazenados em espaços com utilidade própria.

Em matéria de acondicionamento dos resíduos é importante a contentorização imediata dos resíduos líquidos perigosos, separados de acordo com as características de cada produto e de acordo com os respetivos métodos de eliminação ou valorização. (DGS,2015)

Depois de recolhidos internamente os resíduos poderão ter que ser armazenados temporariamente em locais apropriados dotados de bacias de retenção para os efluentes líquidos, de um sistema automático de combate a incêndios e com capacidade de refrigeração. (WHO,2005)

Os resíduos são transportados até ao destino final de tratamento e estão sob regulamentação da Portaria n.º 335/97, 16 de Maio, que dita as regras do transporte de resíduos em território nacional.

No número 2 da Portaria nº 335/97 são definidas as entidades que podem realizar transporte rodoviário de resíduos, sendo que o transporte rodoviário de resíduos hospitalares dos Grupos III e IV deve ser efetuado pelas entidades responsáveis pela gestão desta tipologia de resíduos.

O transporte de resíduos abrangidos pelos critérios de classificação de mercadorias perigosas deve obedecer à regulamentação nacional de transporte de mercadorias perigosas por estrada (Decreto-Lei nº 41-A/2010, de 29 de Abril), que regula o transporte terrestre rodoviário e ferroviário de mercadorias perigosas.

1.2.2.2 TRATAMENTO

Os processos de tratamento dos resíduos hospitalares têm como objetivo reduzir a sua perigosidade para a saúde pública e para o ambiente permitindo a sua manipulação com maior segurança, minimizar o impacto visual destes resíduos tornando-os irreconhecíveis, nomeadamente por razões éticas, e reduzir o seu volume. (PERH, 2011)

No que diz respeito aos processos de desinfeção podem ser classificados em processos químicos ou físicos. São considerados processos químicos quando a descontaminação ocorre pela utilização de substâncias químicas, como ocorre por exemplo, na desinfeção química. Os processos físicos consideram-se quando a descontaminação ocorre através do aumento de temperatura a seco, vapor ou radiação, ocorrendo por exemplo no tratamento por autoclavagem, no tratamento por micro-ondas, na ionização e no tratamento térmico por trituração. (Seiça, 1998).

No processo de desinfeção química é introduzida uma solução desinfetante ou germicida num recipiente juntamente com os resíduos, para a destruição de microrganismos patogénicos presentes nos mesmos. Todo este processo é completado por trituração e/ou compactação. (Profico, 2004).

No tratamento por autoclavagem, desinfeção com calor húmido, os resíduos são colocados numa câmara na qual é injetado vapor de água em sobrepressão durante um período de tempo, atingindo temperaturas na ordem dos 135°C tendo como objetivo a destruição dos agentes patogénicos ou a sua redução a um nível que não constitua risco. Este processo inclui ciclos de compressão e de descompressão, de forma a facilitar o contacto entre o vapor e os resíduos, permitindo que o vapor chegue às superfícies a tratar. (PERH). Os resíduos que resultam da autoclavagem são classificados como não perigosos, podendo ser depositados em aterros para resíduos não perigosos segundo a portaria nº 174/97, de 10 de Março.

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas, com uma frequência entre as ondas rádio e as ondas infravermelhas no espectro eletromagnético. Quando aplicadas no tratamento de resíduos hospitalares, a descontaminação processa-se através do aquecimento do material pela interação entre as moléculas de água e a irradiação por micro-ondas (Mühlich, Scherrer, & Daschner, 2003), tal como no processo de autoclavagem, os resíduos resultantes do tratamento por micro-ondas são considerados não perigosos.

O processo de ionização abrange duas formas de tratamento a radiação gama e a radiação de eletrões. A radiação gama utiliza radiação gerada pelo radioisótopo Cobalto-60 para descontaminação dos resíduos hospitalares, enquanto que a radiação de eletrões envolve a utilização de um acelerador linear ou gerador de raios de eletrões, sendo que os microrganismos presentes nos resíduos hospitalares são destruídos através de dissociação química e da rutura das paredes celulares. (PERH, 2011).

No tratamento térmico por trituração os resíduos são aquecidos por vapor em uma câmara onde ocorre a descontaminação através do efeito da trituração com lâminas rotativas que elevam a temperatura por fricção aos 155°C. (PERH, 2011).

1.2.2.3 ELIMINAÇÃO

Os processos referidos anteriormente destinados a reduzir os níveis de risco apresentados pelos resíduos hospitalares de tipo III, antecedem um processo de eliminação, geralmente em aterro de resíduos não perigosos, aplicado a resíduos urbanos ou resíduos industriais. (Matos, 2003)

Contudo, os resíduos de tipo III poderiam ser eliminados sem qualquer tratamento prévio caso se optasse pela incineração, a exemplo do que é obrigatório para os resíduos de tipo IV. (DGS, 2015).

A incineração destes resíduos inclui geralmente o contentor ou saco, por se apresentar igualmente contaminados. (DGS, 2015).

O comportamento dos resíduos na incineração depende da natureza desses resíduos. No momento em que os resíduos são submetidos a este processo não é possível conhecer a composição dos mesmos. Os resíduos hospitalares são constituídos por componentes heterogêneos e em várias quantidades. Por esse motivo, o valor do poder calorífico dos resíduos, pode sofrer alterações significativas. Subsequentemente, as alterações na velocidade de combustão podem conduzir a variações de temperatura e de pressão na

câmara de combustão, o que, conseqüentemente perturba o processo de combustão. (Bujak, 2010)

1.3 GESTÃO DE RESÍDUOS DE PRODUÇÃO E ABATE DE ANIMAIS

No âmbito da atividade agrícola e das atividades ligadas à produção de produtos animais para alimentação humana tais como da indústria de abate animal, pesca e respetivo processamento, ocorrem resíduos diversificados tais como vísceras, placentas, miudezas e penas de aves, sangue conteúdo intestinal, lamas das estações de tratamento de matadouro, peixe e suas vísceras entre outros. Além disso alguns casos envolve a rejeição total para consumo de carcaças e em alguns casos há riscos associados a propagação de doenças. A gestão destes resíduos coloca assim oportunidades de aproveitamento mas também riscos que importa não menosprezar. (EPA,2000)

Assim pesquisou-se na bibliografia disponível na internet e em artigos científicos. Nomeadamente os artigos de Orellana et al., (2009), Mohiuddin, (2013), Auvermann et al., (2004), Gravalos et al., (2008), Themelis, Castaldi, Bhatti, & Arsova, (2011), Ariyaratne, Melaaen, Eine, & Tokheim, (2010). No primeiro os autores realizaram um estudo com o objetivo de caraterizar e comparar as características de carcaças, concentração de colesterol, composição de ácidos gordos da gordura intramuscular e subcutânea, e também a qualidade de carne de novilhos Crioulo Argentino e Bradford. No segundo artigo o autor fez um estudo em que compara a densidade de ossos de bovino em função do teor de água. O terceiro artigo estudado fornece uma discussão de vários aspetos sobre o aproveitamento de carcaças. No quarto artigo relata um estudo energético sobre as gorduras animais e óleos vegetais usando um calorímetro na bomba de combustão. No quinto os autores realizaram um estudo sobre a energia e o valor económico dos plásticos não reciclados e resíduos sólidos urbanos que são depositados em aterro e por último no sexto artigo analisado os autores investigaram a taxa otimizada de alimentação de carne e ossos como fonte renovável de energia utilizados em fornos de cimenteira.

O papel dos subprodutos animais na propagação de doenças animais transmissíveis foi evidenciado na sequência das crises alimentares da década de 1990, como a epidemia de encefalopatia espongiforme bovina. De acordo com o Regulamento (CE) n.º 1069/2009 os produtos derivados de animais declarados impróprios para consumo humano não devem entrar na cadeia alimentar. Além disso, a administração a qualquer

animal de proteínas obtidas por transformação de cadáveres da mesma espécie ou canibalismo pode constituir um risco suplementar de propagação de doenças.

É interessante verificar que o referido regulamento CE evita o termo “resíduo” para estabelecer o normativo para a gestão destes materiais, antes preferindo o termo “subproduto”, o que juridicamente evita a aplicação direta dos normativos sobre resíduos, permitindo assim manter em aberto toda a recuperação possível como matéria-prima.

1.3.1 CLASSIFICAÇÃO DE SUBPRODUTOS DE ANIMAIS

Segundo Regulamento (CE) n.º 1069/2009, entende-se por subprodutos animais os cadáveres inteiros (ou partes) de animais ou produtos de origem animal não destinados ao consumo humano, incluindo óvulos, embriões e sémen. Os subprodutos de animais incluem carne, produtos lácteos entre outros produtos, incluindo o chorume. Estas matérias são seguidamente eliminadas ou transformadas e reutilizadas em vários domínios, nomeadamente no sector cosmético ou farmacêutico e noutras utilizações técnicas.

1.3.1.1 MATÉRIAS DA CATEGORIA 1

As matérias da categoria 1 incluem todas as partes do corpo, incluindo os couros e peles, de animais suspeitos de estarem infetados, ou que estejam realmente infetados, com uma encefalopatia espongiforme transmissível (EET), animais abatidos no âmbito de medidas de erradicação de EET, animais de companhia, animais de jardim zoológico e animais de circo, animais utilizados para fins experimentais, animais selvagens suspeitos de estarem infetados com doenças transmissíveis; matérias de risco especificadas enquanto tecidos suscetíveis de transmitir um agente infeccioso; produtos derivados de animais a que tenham sido administradas substâncias proibidas ou que contenham produtos perigosos para o ambiente; todas as matérias animais recolhidas aquando do tratamento de águas residuais das unidades de transformação da categoria 1 e outras instalações em que sejam removidas matérias de risco especificadas; restos de cozinha e de refeições provenientes de meios de transporte que efetuem transportes internacionais, misturas de matérias da categoria 1 com matérias da categoria 2 ou matérias da categoria 3, ou ambas.

1.3.1.2 MATÉRIAS DA CATEGORIA 2

As matérias da categoria 2 incluem o chorume e conteúdo do aparelho digestivo; todas as matérias animais com exceção das pertencentes à categoria 1 e recolhidas aquando do tratamento das águas residuais de matadouros; os produtos de origem animal que contenham resíduos de medicamentos veterinários e contaminantes cujas concentrações excedam os limites comunitários; os produtos de origem animal, com exceção das matérias da categoria 1, importados de países terceiros e que não cumpram os requisitos veterinários comunitários; os animais não pertencentes à categoria 1 que não tenham sido abatidos para consumo humano e as misturas de matérias da categoria 2 com matérias da categoria 3.

1.3.1.3 MATÉRIAS DA CATEGORIA 3

As matérias da categoria 3 incluem partes de animais abatidos, próprias para consumo humano mas que, por motivos comerciais, não se destinem ao consumo humano; partes de animais abatidos, rejeitadas como impróprias para consumo humano, mas não afetadas por quaisquer sinais de doenças transmissíveis; couros e peles, cascos e cornos, cerdas de suíno e penas originários de animais abatidos num matadouro e declarados próprios para consumo humano depois de submetidos a uma inspeção ante morte; sangue obtido de animais não ruminantes que sejam abatidos em um matadouro, declarados próprios para consumo humano depois de submetidos a uma inspeção ante morte; subprodutos animais derivados do fabrico de produtos destinados ao consumo humano, incluindo os ossos desengordurados e os torresmos; restos de géneros alimentícios de origem animal, para além dos restos de cozinha e de mesa, que já não se destinem ao consumo humano, por motivos comerciais ou devido a problemas de fabrico ou embalagem; leite cru originário de animais que não apresentem sinais clínicos de qualquer doença transmissível; peixes ou outros animais marinhos, exceto os mamíferos marinhos, capturados no mar alto para a produção de farinha de peixe, bem como os subprodutos frescos de peixe provenientes de fábricas de produtos à base de peixe destinados ao consumo humano; cascas de ovos originárias de animais que não apresentem sinais clínicos de qualquer doença transmissível; sangue, couros e peles, cascos, penas, lã, cornos, pelos e peles com pêlo originários de animais sãos e restos de cozinha e de mesa não pertencentes à categoria 1.

1.3.2 OPERAÇÕES DE GESTÃO DE RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DE ANIMAIS

Os subprodutos animais surgem principalmente no abate de animais para consumo humano, durante a produção de géneros alimentícios de origem animal como os produtos lácteos, durante a eliminação de animais mortos e na aplicação de medidas de controlo de doenças. Independentemente da sua origem, os subprodutos de animais constituem um risco potencial para a saúde pública ou animal e para o ambiente. Este risco tem de ser controlado adequadamente, mediante o encaminhamento de tais produtos para meios de eliminação seguros ou mediante a sua utilização para outros fins, desde que sejam aplicadas condições rigorosas que minimizem os riscos sanitários envolvidos.

Existe um claro interesse em uma eliminação adequada de todos os subprodutos animais, minimizando os riscos sanitários, uma grande parte de subprodutos animais é utilizada com segurança para várias aplicações de uma forma sustentável.

A eliminação de subprodutos animais e produtos derivados deverá ter lugar nos termos da legislação ambiental relativa à descarga em aterro sanitário e à incineração de resíduos. Com a finalidade de assegurar a coerência, a incineração deverá ter lugar nos termos da Diretiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro de 2000, relativa à incineração de resíduos.

O Regulamento (CE) n.º 1069/2009 introduziu a classificação dos subprodutos animais em três categorias de acordo com o grau de risco envolvido, referindo os destinos possíveis no âmbito da respetiva gestão.

1.3.2.1 RECOLHA, TRANSPORTE, TRATAMENTO, ARMAZENAGEM E EXPEDIÇÃO

Segundo Regulamento (CE) n.º 1069/2009, com exceção dos restos de cozinha e de mesa da categoria 3, os subprodutos animais e os produtos transformados serão recolhidos, transportados e identificados. O procedimento regulamentar diz respeito à identificação e à rotulagem das matérias-primas das três categorias, ao equipamento dos veículos e dos contentores, aos documentos comerciais, aos certificados sanitários e às condições de transporte. Deverá ser conservado um registo de todos os envios. Para a exportação de subprodutos animais e produtos derivados, o Estado-Membro de destino deverá ter autorizado a receção das matérias das categorias 1 e 2 bem como das proteínas animais transformadas. Devidamente identificados, todos os lotes de subprodutos animais serão diretamente encaminhados para a unidade de destino. Todas as informações entre as autoridades competentes dos Estados-Membros transitarão através do sistema TRACES (*Trade Control and Expert System*), criou um único banco

de dados central para monitorizar os movimentos de animais e produtos de origem animal.

1.3.2.2 TRATAMENTO DE SUBPRODUTOS ANIMAIS

O tratamento de resíduos está dependente da sua classificação e das condições que apresenta para eventual recuperação. Segundo (Auvermann, Kalbasi, & Ahmed, 2004) geralmente os processos de transformação de subprodutos animais, iniciam-se com a receção de matérias-primas, seguido da remoção das partes indesejáveis, corte, mistura e por vezes pré aquecimento, cozedura e a separação da gordura da proteína. A proteína concentrada é então seca e moída. Os processos podem ser categorizados como “aptos para utilização na alimentação” ou “não aptos para utilização na alimentação”.

Nos processos classificados como "aptos para utilização na alimentação", os subprodutos, tais como aparas de gordura são moídos em pequenos pedaços, derretidos e desintegrados através da cozedura, libertando humidade e sebo "comestível" ou gordura. Resultando três produtos finais (sólidos proteicos, gordura derretida, e água) são separados uns dos outros por rastreio e centrifugações sequenciais. Os sólidos proteicos são secos e, subsequentemente, podem ser utilizados para ração de animais, a água é descarregada como lamas, e a gordura comestível é bombeada para a refinação. (Auvermann et al., 2004)

Os processos considerados “não aptos para utilização na alimentação” são semelhantes aos processos “aptos para utilização na alimentação”, diferem nas matérias-primas, produtos finais e às vezes no equipamento. Se a matéria-prima é proibida para a utilização de alimentos para animais ou materiais de queratina (chifres e cascos), o produto é classificado como não comestível e pode ser usada como um fertilizante. O sebo pode ser utilizado na alimentação animal, produção de ácidos gordos, ou pode ser fabricado em sabões. (Auvermann et al., 2004)

De acordo com o Regulamento (CE) n.º 1069/2009, os subprodutos de animais podem ter diferentes destinos conforme a sua categoria. Para as matérias da categoria 1, podem ser diretamente eliminadas como resíduos por incineração numa unidade de incineração aprovada; transformadas numa unidade de transformação aprovada mediante a aplicação de um método específico, sendo as matérias resultantes marcadas e, por fim, eliminadas como resíduos por incineração ou por co-incineração; excluindo as matérias provenientes de cadáveres de animais infetados (ou suspeitos de estarem infetados) com uma EET, transformadas mediante a aplicação de um método específico numa unidade

de transformação aprovada, sendo as matérias resultantes marcadas e por fim eliminadas como resíduos por enterramento num aterro aprovado. No caso de restos de cozinha e de mesa, eliminados em aterro.

No que respeita aos destinos possíveis para as matérias da categoria 2, estas podem ser diretamente eliminadas como resíduos, por incineração em uma unidade de incineração aprovada; transformadas numa unidade de transformação aprovada mediante um método específico, sendo as matérias resultantes marcadas e, por fim, eliminadas como resíduos. No caso das matérias derivadas de peixe, ensiladas ou submetidas a compostagem. Em relação ao chorume, do conteúdo do aparelho digestivo, do leite e do colostro que não apresentem risco de propagação de uma doença transmissível, quer utilizadas sem transformação, como matéria-prima numa unidade de biogás ou numa unidade de compostagem, ou tratadas em uma unidade técnica; ou espalhadas no solo. E por fim, utilizadas para realizar troféus de caça numa unidade técnica.

Relativamente aos destinos possíveis para matérias da categoria 3, estas podem ser diretamente eliminadas como resíduos por incineração em uma unidade de incineração aprovada; utilizadas como matéria-prima em uma unidade de alimentos para animais de companhia; transformadas mediante um método específico numa unidade aprovada de transformação, de produtos técnicos, de biogás ou de compostagem; transformadas numa unidade de biogás ou submetidas a compostagem, caso se trate de restos de cozinha da categoria 3 e no caso das matérias-primas provenientes de peixes, ensiladas ou submetidas a compostagem.

Segundo o capítulo III, do anexo V, do Regulamento (CE) nº 1774/2002, existem 7 métodos de transformação de subprodutos animais, em que nos métodos 1, 2 e 3 o processo é idêntico, inicialmente passando por um processo de redução e posterior aquecimento, diferindo apenas nas dimensões das partículas dos subprodutos, respetivas temperaturas e tempos de aquecimento. No método 4 após o processo de redução, antecedendo o aquecimento é feita a adição de gordura às partículas de subprodutos. Para o método 5 depois da redução das partículas, são aquecidas até coagularem, posteriormente submetidas a prensagem até que a gordura e a água sejam removidas das matérias proteicas, sendo estas aquecidas novamente. O método 6, é exclusivo para subprodutos animais derivados de peixe, em que seguidamente à redução do material, são misturados com ácido fórmico para redução do pH, são armazenados durante algum tempo para posteriormente serem aquecidos, posteriormente, de seguida o produto deve ser separado em líquido, gordura e torresmos. Por fim o método 7 em que é qualquer método de transformação aprovado pela autoridade competente, desde que

tenha sido demonstrado a contento desta que o produto final foi diariamente submetido a amostragem durante um período de um mês, respeitando as seguintes normas microbiológicas:

- Amostras de matérias colhidas diretamente após tratamento térmico: ausência de clostridium perfringens em 1 grama do produto;
- Amostras de matérias colhidas durante a armazenagem na unidade de transformação ou no termo desta: salmonella: ausência em 25 gramas: $n = 5$, $c = 0$, $m = 0$, $M = 0$ e enterobacteriaceae: $n = 5$, $c = 2$, $m = 10$, $M = 300$ em 1 g

em que:

n = número de amostras a ensaiar;

m = valor limiar para o número de bactérias; o resultado é considerado satisfatório se o número de bactérias em todas as amostras não exceder m ;

M = valor máximo para o número de bactérias; o resultado é considerado insatisfatório se o número de bactérias numa ou mais amostras for igual ou superior a M ; e

c = número de amostras cuja contagem de bactérias se pode situar entre m e M , sendo a amostra ainda considerada aceitável se a contagem de bactérias das outras amostras for igual ou inferior a m .

1.4 TRATAMENTO TERMOQUÍMICO DE RESÍDUOS

O tratamento termoquímico de resíduos refere-se ao conjunto de processos a alta temperatura (superior a 600°C) que inclui a incineração, a pirólise e a gasificação, aplicando-se a resíduos. Qualquer dos referidos processos envolve a destruição total das estruturas orgânicas complexas da matéria originando produtos gasosos e sólidos mais simples. A incineração é um processo termoquímico que decorre a alta temperatura (800 a 1000°C) durante o qual a matéria orgânica presente nos resíduos é oxidada pelo oxigénio do ar a gases simples e cinzas. Para além da incineração, as tecnologias de tratamento térmico de resíduos mais importantes são a pirólise e a gasificação, ambas permitem recuperar valor a partir de resíduos. A diferença entre os processo acima referidos é que a incineração converte totalmente o resíduo em energia e cinza enquanto que, a pirólise e a gasificação convertem os resíduos num material intermédio, com valor, que posteriormente pode ser processado para reciclagem material ou produção de energia. (Matos,2003)

A pirólise é a degradação térmica do resíduo na ausência de ar, para produção de carvão, alcatrões ou gás síntese enquanto que a gasificação consiste na degradação dos hidrocarbonetos em gás de síntese através dum controle cuidadoso do oxigénio presente. (Matos,2003)

Um outro processo de tratamento que pode ser utilizado é o sistema de plasma, é um sistema semelhante ao da incineração mas sem combustão, processo este que decorre na ausência de oxigénio e são utilizados arcos elétricos, sendo o resíduo transformado em plasma. Para tal, o material tem de estar a baixa pressão e a elevada temperatura entre 7000°C a 12000°C. Ocorre a destruição da matéria orgânica devido às temperaturas elevadas não permitindo a formação de poluentes atmosféricos. O produto final é um inerte vitrificado. (SEIÇA, 1998)

1.4.1 INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS

Segundo o Decreto-Lei n.º 73/2011 uma instalação de incineração de resíduos é qualquer unidade ou equipamento técnico fixo ou móvel destinado ao tratamento térmico de resíduos, com ou sem valorização do calor gerado pela combustão, através da incineração dos resíduos por oxidação.

No que concerne à gestão de resíduos urbanos indiferenciados, a incineração com recuperação de energia, é uma alternativa considerada segura nos países europeus mais industrializados.

A sociedade está cada vez mais consciencializada dos problemas relacionados com os resíduos, a ocupação dos solos, as contaminações que geram nas águas, nos alimentos e no ar, sintetizando, os impactos causados no ambiente e na saúde pública, são resultantes da falta de controlo total das emissões de certos metais pesados (Zn, As, Hg, Cd, Se, Pb, Cu) e também de algumas substâncias orgânicas (PAH, dioxinas). (Couto et al., 2013)

A incineração é a queima controlada de substâncias em uma área fechada. Para a ocorrência da queima os resíduos são introduzidos no incinerador, na câmara de combustão. Os resíduos são aquecidos, e convertidos a partir de sólidos e líquidos em gases. De seguida, passam, normalmente, para uma câmara de combustão secundária, onde estes gases são incinerados a temperaturas mais elevadas. Os gases atingem altas temperaturas, o que faz com que os compostos orgânicos contidos nos gases quebrem-se em seus átomos constituintes. Estes átomos combinam-se com o oxigênio e formam

gases estáveis que são libertados para a atmosfera depois de passar pelos dispositivos de controlo de poluição do ar. (EPA, 2000)

Para que a incineração seja um método eficaz existem três fatores críticos a ter em conta, que são, a temperatura na câmara de combustão, o cumprimento do tempo de residência dos resíduos mantidos a temperaturas elevadas; a turbulência, ou grau de mistura, dos resíduos e do ar. (EPA, 2000)

A cinza é um subproduto do processo de combustão, é um material sólido inerte composto principalmente por carbono, sais e metais. Durante o processo de combustão, a maior parte da cinza é recolhida na parte inferior da câmara de combustão. Devido à sua composição é considerada um resíduo perigoso e está sujeita a requisitos estabelecidos na legislação, segundo o Decreto-Lei n.º 73/2011, a 17 de junho. No entanto algumas cinzas, bem como pequenas partículas são arrastadas com os gases, onde posteriormente são recolhidos pelos dispositivos de controlo de poluição conforme os limites estabelecidos.

Os gases estáveis produzidos pela incineração são principalmente dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O), dependendo da composição dos resíduos. No entanto, do processo de incineração também resultam: monóxido de carbono (CO), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), dióxido de enxofre (SO₂), NO_x, partículas, metais pesados, dioxinas e furanos e COVS (Matos, 2003);

- CO - É um gás tóxico, sem cheiro, que se forma durante a combustão incompleta de compostos de carbono, é produzido quando o oxigénio ou a temperatura são insuficientes para que ocorra a oxidação completa a CO₂. Uma medição contínua dos níveis de CO permite avaliar a eficiência do processo de incineração. As emissões de CO e as emissões de COV estão diretamente relacionadas, sendo que, quando a concentração de um destes componentes aumenta ou diminui verifica-se um comportamento igual no outro componente; (BREF, 2004)
- Ácidos (HCl e HF) - Existem inúmeros resíduos que contêm compostos de cloro, alguns deles orgânicos (por exemplo, produtos que contêm policloreto de polivinila (PVC)). Durante a combustão, os componentes orgânicos são destruídos e o cloro é convertido em ácido clorídrico (HCl). A formação de ácido fluorídrico (HF) é idêntica à do HCl, sendo as principais fontes deste poluente, na incineração de resíduos, os plásticos ou os têxteis que contenham flúor; (BREF, 2004)

- SO_2 - Se os resíduos possuírem compostos de enxofre, irá ser formado dióxido de enxofre (SO_2) durante a incineração. O enxofre pode ser proveniente dos resíduos de papel e de plástico; (BREF, 2004)
- NO_x – Durante a incineração são emitidos vários óxidos azoto, no entanto o monóxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO_2) são os que tem mais relevância. Apesar de terem diferentes propriedades químicas e físicas e diferentes impactos ambientais, são agrupados e a soma dos dois é designada por NO_x . Os óxidos de azoto podem formar-se de três formas: a partir da conversão do azoto contido no combustível, que neste caso são os resíduos (NO_x combustível); durante a combustão (NO_x térmico); através da reação com radicais CH , intermediando a formação de HCN . Este último mecanismo de formação tem relativamente pouca importância na incineração de resíduos; (BREF, 2004)
- Partículas – O material particulado, acumula-se no fundo da câmara de combustão, ou é transportado pelo efluente gasoso. Este material particulado inclui as PM_{10} , ou partículas inaláveis, que têm um diâmetro aerodinâmico inferior a $10\text{ }\mu\text{m}$, e as $\text{PM}_{2.5}$, ou partículas finas, que têm um diâmetro aerodinâmico inferior a $2.5\text{ }\mu\text{m}$. As partículas contêm substâncias inorgânicas (sulfatos, nitratos, metais) e substâncias orgânicas (hidrocarbonetos poliaromáticos, dioxinas e furanos). Quando se removem as partículas também se removem estas substâncias; (BREF, 2004)
- Metais pesados – Os mais comuns são: o mercúrio, cádmio, tálio, chumbo, níquel, crómio, mas existem muitos outros. Têm tendência para se ligar às partículas. Por exemplo o mercúrio é muito tóxico, podendo estar presente nos resíduos devido à presença de baterias ou termómetros, que contêm o poluente em causa. Pode-se apresentar na forma de mercúrio metálico ou como cloreto de mercúrio (HgCl_2), estando dependente das condições químicas do fluxo gasoso. Se existir uma elevada concentração de HCl , o mercúrio estará maioritariamente na forma de HgCl_2 , sendo a sua remoção mais fácil. No caso da concentração de HCl ser baixa o mercúrio encontra-se na forma metálica, sendo mais difícil de remover; (BREF, 2004)
- Dioxinas e Furanos - As policlorodibenzodioxinas (PCDD) e os policlorodibenzofuranos (PCDF) vulgarmente conhecidas por dioxinas e furanos, são extremamente tóxicos e alguns desses compostos têm efeitos cancerígenos. Podem encontrar-se nos resíduos, nos gases de exaustão e nos resíduos de incineração. A parte maioritária destes compostos são destruídos durante o processo de incineração mas também podem ser formados após a combustão, a

partir de compostos precursores, como por exemplo os bifenis policlorados (PCB), clorohidrobenzeno e clorobenzeno. Uma boa combustão destrói estes compostos precursores; (BREF, 2004)

- COVS – Fazem parte dos COVS os hidrocarbonetos, compostos oxigenados, compostos halogenados e outros compostos de carbono, tendo facilidade na evaporação. Formam-se quando ocorre a queima incompleta de combustíveis, causado devido, por exemplo, à deficiência de oxigénio no processo de combustão. (WHO, 2005)

A formação destes subprodutos pode ainda depender de fatores como o tipo de tecnologia específica de cada unidade de incineração e os parâmetros de operação, tais como a temperatura e a velocidade dos gases de exaustão. (Matos, 2003)

As emissões de HCl, HF, SO₂, NOX, PCDD/PCDF e metais pesados dependem essencialmente da eficiência de tratamento dos gases e da composição dos resíduos. As emissões de CO e COV são determinadas pelos parâmetros técnicos da câmara de combustão e o grau de heterogeneidade dos resíduos quando atingem a fase de combustão. A estrutura do forno também influencia as emissões de NOX. As emissões de partículas estão diretamente relacionadas com a eficiência de tratamento do efluente gasoso. (BREF, 2004)

Mesmo que o desempenho da câmara de combustão tenha sido otimizado, os dispositivos de controlo da poluição do ar, também deve ser otimizados. (Saxena & Jotshi, 1996)

As tecnologias de tratamento de efluentes gasosos são instrumentos essenciais no controlo da emissão de poluentes para a atmosfera, mas também ao condicionamento de correntes materiais existentes no âmbito dos processos produtivos. Segundo(Saxena & Jotshi, 1996), os equipamentos de controlo da poluição de ar são uma parte importante de um sistema de incineração, em muitos casos, é o maior custo do sistema. Vários equipamentos são utilizados em série para limpar os gases de combustão.

A seleção dos equipamentos é baseada principalmente na economia, facilidade de operação e de limites de emissões(Lee & Huffman, 1996). O controlo rigoroso de partículas, metais ou emissões gasosos pode exigir a utilização de tecnologias tais como: ciclones, precipitador eletrostático, filtração seca, lavadores húmidos, adsorção gás-sólido e absorção gás-liquido. (Matos, 2003)

Relativamente aos ciclones são equipamentos de despoeiramento, separadores de gás-sólido, a separação ciclónica de partículas é uma técnica de separação mecânica que é

induzida por um campo de forças sobre as partículas de tal modo que, por ação das forças do peso e inércia, estas são refletidos a partir do caminho de gás para locais fora da ação de arrasto do escoamento de gás, onde podem ser removidas. (Matos, 2003)

No que se refere ao precipitador eletrostático, consiste na utilização de um processo envolvendo forças electroestáticas na separação de partículas presentes nos efluentes gasosos, permitindo a remoção das partículas suspensas, fumos, vapores, de uma maneira versátil e eficiente. A criação das forças electroestáticas são induzidas nas partículas quando estas passam através de um campo elétrico permanente. Este campo é gerado pela existência de uma diferença de potencial entre os elétrodos emissores e coleta de elétrodos, da ordem de algumas dezenas de milhares de volts; podendo ser o potencial negativo ou positivo. (Matos, 2003)

No que concerne à filtração seca dos efluentes gasosos, consiste em um processo que permite a separação de partículas a seco, utilizando uma estrutura composta por diversos obstáculos individuais montados sobre um suporte poroso. Inicialmente, e, em particular, as partículas maiores são retidas nos obstáculos por vários mecanismos de captura aerodinâmicas, criando um depósito ou um bolo. (Matos,2003)

Nos lavadores húmidos a remoção das partículas de poeira faz-se promovendo o choque destas com gotas de líquido que funcionam como malha de obstáculos, as gotas de líquido podem ser produzidas por atomização pneumática ou hidráulica; outras alternativas recorrem à formação de bolhas ou simplesmente superfícies molhadas. (Matos,2003)

Em relação à adsorção, é um processo físico-químico pela qual certos sólidos (adsorvente), preferencialmente, concentram as moléculas específicas com a sua superfície a partir de misturas gasosas ou líquidas. São de particular interesse como adsorventes as substâncias com alta porosidade. (Matos,2003)

Para finalizar, a absorção gás-líquido, é um processo físico-químico através da qual uma mistura gasosa contacta com uma mistura líquida (líquido lavador), com a finalidade de dissolver um ou mais constituintes da mistura gasosa dando origem a uma solução líquida desse (s) constituinte (s). (Matos,2003)

1.4.2 INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS

No âmbito das boas práticas de gestão de resíduos perigosos, a incineração tem atributos únicos que, se bem conduzida, destrói permanentemente compostos orgânicos

tóxicos contidos em resíduos perigosos por quebrar suas ligações químicas e revertendo-os para os seus elementos constitutivos, reduzindo ou removendo a sua toxicidade, e também, reduzindo o volume de resíduos perigosos através da conversão de sólidos e líquidos em cinzas. (EPA, 2000)

A incineração de resíduos e incineração de resíduos especialmente perigosos diferem substancialmente em relação ao âmbito de combustão convencional para a produção de energia. O principal objetivo dos incineradores de resíduos, em particular de resíduos perigosos, é incinerar a quantidade máxima possível de resíduos, enquanto satisfaça as restrições ambientais. A energia é um benefício secundário de muito menor importância, em particular no caso da incineração de resíduos perigosos. (Tsiliyannis, 2013)

Em contrapartida, em instalações térmicas convencionais, o objetivo principal é produzir a quantidade máxima de energia com a menor quantidade possível de combustíveis pré-determinados, enquanto satisfaça as restrições ambientais. (Tsiliyannis, 2013)

1.4.3 EMISSÕES GASOSAS DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS HOSPITALARES

Os perigos para a saúde humana e para o meio ambiente, provocados pelos resíduos hospitalares, justificam um alto nível de preocupação com a sua gestão. A incineração e a eliminação das cinzas através da deposição em aterro, é o processo de tratamento mais utilizado para a gestão de resíduos hospitalares. (Alvim-Ferraz & Afonso, 2003)

Um incinerador com um bom funcionamento reduz a massa de resíduos em cerca de 90%, diminuindo os resíduos finais para uma quantidade relativamente pequena. (Alvim Ferraz et al., 2000)

A principal desvantagem da incineração de resíduos hospitalares é a emissão de poluentes para a atmosfera, em que alguns deles são extremamente tóxicos. Poluentes são geralmente emitidos quer no condensado (material particulado) ou em forma gasosa. Muitos são compostos orgânicos metálicos e têm efeitos conhecidos sobre a saúde humana e do meio ambiente. (Ficarella e Laforgia de 2000)

A Organização Mundial de Saúde, 2004, considera que os poluentes gasosos mais frequentemente emitidos (monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de azoto e cloreto de hidrogénio) tem especial impacto a nível ambiental e da saúde

Mesmo quando são utilizadas as práticas corretas de operação e manutenção (taxa de alimentação controlada, o ar de combustão controlado, as altas temperaturas, a turbulência adequada e o tempo de residência, trabalhos de pesquisa anteriores

demonstraram que, sem controlo de poluentes atmosféricos, a incineração de resíduos hospitalares não obedecem os limites legais de emissão. Assim, para preservar a saúde pública, os incineradores hospitalares devem possuir dispositivos de controlo de poluição do ar, com o objetivo de reduzir as concentrações de poluentes para níveis ainda mais baixos do que os legislados. (Alvim-Ferraz & Afonso, 2003)

Segundo um estudo realizado por (Alvim-Ferraz & Afonso, 2003) as emissões gasosas são claramente dependentes da composição dos resíduos incinerados, e são diretamente afetados pelo tipo de resíduos incinerados, pela classificação de resíduos, e pelas práticas de separação e metodologias de gestão. O estudo incidiu sobre quatro amostras diferentes de resíduos que foram: mistura de resíduos do grupo I e do grupo II; grupo III; grupo IV com processo de segregação normal e por último grupo IV após um programa de sensibilização para uma segregação rigorosa de resíduos no hospital onde foram coletados os resíduos para o estudo. Após a sensibilização foi possível observar que os componentes segregados para os grupos I e II não foram afetados. A principal diferença foi observada nos componentes incluídos nos grupos III e IV em que ocorreu uma diminuição do grupo IV devido ao aumento do grupo III. Permite concluir que é possível reduzir cerca de 80% os resíduos com incineração obrigatória (grupo IV) utilizando uma prática de segregação rigorosa.

Os fatores de emissão para a incineração de resíduos hospitalares são muito dependentes das condições de incineração e das características dos resíduos. No que respeita às emissões de CO, SO₂, NO_x e HCl os resultados do estudo mostraram uma clara influência da composição dos resíduos incinerados, diretamente afetados pelo tipo de resíduos incinerados, a classificação de resíduos, práticas de separação e metodologia de gestão. (Alvim-Ferraz & Afonso, 2003)

Para obter o valor de temperatura mínima para incineração de resíduos hospitalares com incineração obrigatória, quando seguidos de uma prática de segregação rigorosa é necessária a utilização de uma quantidade de combustível auxiliar de trinta e cinco vezes maior para a incineração comparativamente com as outras amostras de resíduos. Podemos verificar que a incineração desse combustível é responsável pela emissão de 28% CO; 20% NO_x e praticamente 100% de SO₂. No entanto, a incineração destes resíduos levou à menor quantidade de poluentes emitidos e a quantidade emitida de SO₂ e de NO_x reduzido para 93% e a quantidade emitida de HCl e CO para mais de 99%, fortalecendo a importância da implementação da prática de uma segregação rigorosa de resíduos hospitalares. (Alvim-Ferraz & Afonso, 2003)

1.5 OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DO PRESENTE TRABALHO

Para a elaboração do corrente estudo de caso efetuou-se uma pesquisa bibliográfica sobre critérios legais de exploração; condições de operação e modelos de desempenho; avaliação das condições operacionais e analisei a conformidade com os valores estabelecidos na legislação e na licença de exploração.

Assim sendo os objetivos definidos são:

- 1) Análise e organização da informação disponível relativa à infraestrutura e definição de um modelo de análise;
- 2) Análise do modelo de exploração tendo em conta as condições de operação, consumo de matérias-primas, produção de energia e emissões;
- 3) Desenvolvimento de um modelo de balanço mássico e energético para análise da exploração;
- 4) Seleção de indicadores de desempenho;
- 5) Conceção e aplicação de um modelo de avaliação de desempenho.

No que concerne à estrutura, o presente estudo de caso está dividido em cinco capítulos. O primeiro corresponde ao capítulo introdutório, onde é feita uma revisão bibliográfica sobre o tema do caso de estudo. O segundo corresponde à descrição da metodologia de trabalho e o modelo de análise, do estudo de caso. O terceiro capítulo refere-se à descrição do estudo de caso. No quarto capítulo procede-se à descrição do resultado do modelo de eficiência, e para finalizar o quinto capítulo é composto por uma conclusão e sugestões.

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

A inexistência de infraestruturas de gestão de resíduos é incompatível com um estado moderno. Contudo a sua existência coloca desafios muito importantes aos responsáveis, tendo em conta as metas que estão definidas, nomeadamente, o cumprimento da legislação ambiental, sob a forma da Licença Ambiental que se encontra atribuída à instalação, que decorre do processo de licenciamento. A Licença Ambiental é a declaração pública do interesse e das restrições a que está sujeita a operação, nomeadamente à quantidade e qualidade dos efluentes e resíduos a restituir para a atmosfera, para a água e para o solo; os limites operacionais definidos para um bom funcionamento da exploração; a utilização de recursos tecnológicos, tais como, consumo de energia (eletricidade e combustível auxiliar), reagentes utilizados no tratamento de gases, águas e resíduos tais como leite de cal, ureia, carvão ativado, cimento para inertização, etc.); a utilização de recursos humanos na operação da instalação e por último o modelo de manutenção que a instalação exige tendo em vista garantir um período de vida compatível com o investimento realizado.

Assim, da atividade de exploração de infraestruturas de gestão de resíduos decorrem um conjunto de impactos ambientais, económicos e sociais que necessitam de ser monitorizados adequadamente, tendo como objetivo uma avaliação de desempenho compatível com as exigências dessa exploração.

Assim importa primariamente conhecer o objetivo principal da infraestrutura bem como os órgãos que a compõem, tendo em conta o detalhe necessário. Para este efeito deve recorrer-se de início a dois documentos-chave da instalação: o Caderno de Encargos e o Manual de Operação. Posteriormente, é fundamental aceder aos registos da exploração, provenientes do sistema automáticos de controlo e aquisição de dados que monitoriza todos os sensores da instalação, que deverão estar localizados apropriadamente e calibrados.

A avaliação de desempenho recorre a ferramentas de análise diversificadas dependendo do objeto. No âmbito dos objetivos definidos para este trabalho, as ferramentas que foram consideradas incluem as que se utilizam no âmbito da análise de processos entre as quais o balanço mássico e o balanço energético. Em qualquer caso é importante reconhecer se o processo em estudos decorre em estado estacionário ou em estado transiente, se o processo é aberto ou fechado, e ainda reconhecer as simplificações que geralmente acompanham os modelos de análise que foram desenvolvidos.

A seleção de indicadores dos processos tem como intuito encontrar métricas capazes de gerar informações importantes para os objetivos do processo e determinar fatores críticos e para o nível de risco associado, permitindo a monitorização de todo o sistema. Identificam-se os processos que afetam os objetivos, revendo-se as relações entre processos. Os processos que oferecem pouco risco para o objetivo podem ser ignorados. Os indicadores estão relacionados com a medição de entradas e saídas de materiais, de energia, atividades e tarefas realizadas, eventos de risco ocorridos durante o processo, recursos afetos ao processo e com a duração do processo.

2.1 MODELO DE ANÁLISE DE PROCESSOS

Os registos de operação referem-se à informação monitorizada ao longo do processo, através de ferramentas de análise de dados.

A análise causa-efeito de sistemas complexos e dinâmicos é uma tarefa difícil que, em rigor, exige metodologias de tratamento de dados apropriados nomeadamente:

- Técnicas de reconciliação de dados, tais como os que decorrem de sistemas caracterizados por redundância de informação, sendo necessário dispor de valores médios e incertezas das várias medidas disponíveis;
- Técnicas de análise de sistemas dinâmicos baseados em séries temporais (modelo de resposta dinâmica baseado em teorias de sistemas de controlo);
- Técnicas estatísticas de tratamento de ocorrências ou eventos;
- Técnicas heurísticas baseadas em métricas obtidas em sistemas análogos, e/ou em bases de dados, e/ou em modelos de balanço mássico e de energia,
- Dado que se trata de um trabalho exploratório, apenas foram consideradas as técnicas heurísticas acima referidas. Por exemplo, os modelos de balanço mássico e de energia permitem comparar os resultados registados e permitem a interpretação desses resultados de exploração, possibilitando uma análise dos processos e a verificação das condições de funcionamento.

2.1.1 TIPOS DE PROCESSOS

Os processos podem ser abertos ou fechados, são abertos quando possuem escoamento ocorrendo troca de massa com as suas vizinhanças, podendo também ocorrer ou não trocas de calor e trabalho. São fechados quando não realizam troca de massa com as

suas vizinhanças, não tendo escoamento, no entanto o calor e trabalho podem ser trocados.

No que diz concerne ao estado podem estar no estado estacionário em que os caudais de entrada e saída são iguais e as propriedades não variam: ou no estado transiente em que os caudais de entrada e saída são diferentes, a massa dentro do sistema não permanece contante e as propriedades variam.

2.1.2 ESPECIFICAÇÕES DE PROCESSOS

Os processos podem ter especificações essencialmente a nível de temperatura, pressão e oxigénio. Os processos em que ocorre a libertação de calor denominam-se de exotérmicos e quando ocorre a absorção de calor são endotérmicos. São denominados processos adiabáticos, quando ocorre num meio isolado onde não corre troca de calor ou de matéria com o meio exterior. Uma transformação isobárica é uma transformação termodinâmica na qual a pressão permanece constante em um sistema fechado enquanto que em. No que diz respeito ao oxigénio, quando os processos ocorrem na presença de oxigénio são aeróbios, se ocorrerem na ausência de oxigénio são denominados de processos anaeróbios.

2.1.3 MONITORIZAÇÃO DE PROCESSOS

A monitorização trata-se de um controlo organizacional importante que deve estar alinhado com a atividade, a eficácia e eficiência das operações, com o objetivo de compreender e interpretar geralmente a partir dos valores médios, mas também em termos instantâneos quando necessário para interpretar o modelo de controlo, em qualquer dos casos relevantes para avaliar o desempenho dos processos da atividade.

2.1.4 AVALIAÇÃO DO MODELO DE DESEMPENHO DE PROCESSOS

Um processo é eficiente se for planeado e controlado, assim a avaliação de desempenho possui uma papel fulcral fornecendo informações acerca dos processos, tanto a nível de resultados como de risco. Para além da recolha de dados a avaliação de desempenho funciona como um sistema de alerta, envolvendo a prevenção e identificação de comportamentos anómalos, estando na base da mitigação do risco do desvio do resultado pretendido, apurando com a visibilidade e compreensão das causas do desvio. (sinfic, 2007)

O nível de desempenho de um processo é medido quanto à sua eficiência e eficácia, através de indicadores de gestão. Contudo, o cálculo do nível de desempenho de um processo só é possível através de a recolha da informação de base de uma forma consistente ao longo do tempo completadas por indicadores da evolução do nível de risco associado ao processo e do progresso das ações de mitigação desses riscos. (sinfic, 2007)

Adicionalmente a comparação entre valores observados na exploração e os valores fixados quer pela licença ambiental quer pelos documentos de suporte às garantias indicadas pelo fabricante da instalação durante o processo de concurso tendo em conta, respetivamente, os impactos ambientais e os impactos técnico-económicos.

2.2 MÉTRICAS DE DESEMPENHO DE PROCESSOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

Entende-se por indicador de desempenho uma medida de avaliação quantitativa da eficiência ou da eficácia de um elemento do serviço prestado pela entidade gestora.

A definição de indicadores de desempenho pode numa primeira aproximação seguir os racionais que suportam os indicadores de desempenho selecionados pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) O anterior Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), iniciou a avaliação anual da qualidade de serviço das entidades concessionárias gestoras de serviços de água e resíduos., através de um conjunto de indicadores designado por “Sistema de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores) que divide as entidades gestoras “em alta” e “em baixa”. Esta classificação esteve no centro da criação dos sistemas multimunicipais, maioritariamente responsáveis pela alta, e dos sistemas municipais, maioritariamente responsáveis pela baixa, corresponde, respetivamente, às atividades grossista e retalhista de abastecimento de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos.

A avaliação dos serviços de gestão de RU é realizada através de três grupos de indicadores de qualidade de serviço (indicadores de desempenho), que são os indicadores que traduzem a adequação da interface com o utilizador; indicadores que traduzem a sustentabilidade da gestão do serviço e indicadores que traduzem a sustentabilidade ambiental (ERSAR, 2013).

A 2ª geração de indicadores em implementação pela ERSAR, desde 2011, surgiu na sequência de uma 1ª geração do sistema de avaliação aplicada entre 2004-2010. Foi desenvolvida no sentido que a ERSAR entendeu que “após seis anos de aplicação era

desejável revisitar o sistema de avaliação da qualidade de serviço, introduzindo algumas melhorias e corrigindo alguns aspetos no sentido de lhe conferir maior funcionalidade e rigor técnico, bem como uma maior aplicabilidade a todo o universo de entidades gestoras, sem no entanto alterar o seu conteúdo e o seu sentido”. (ERSAR & LNEC, 2012).

Os indicadores de gestão de resíduos referem-se aos valores que podem ser estabelecidos e calculados entre um conjunto não determinado de variáveis, nomeadamente de estatísticas de gestão ou então a valores ao longo de séries com referência a valores-base.

Atualmente as métricas de desempenho na área da gestão de resíduos envolvem essencialmente as entidades gestoras de resíduos urbanos: os sistemas municipais e intermunicipais. Estas métricas são identificadas como indicadores e podem ser classificados sob várias categorias: indicadores de desempenho global, indicadores de desempenho financeiro, indicadores de desempenho operacional. (ERSAR, 2013)

2.2.1 INDICADORES DE ADEQUAÇÃO DA INTERFACE COM O UTILIZADOR

Através deste tipo de indicadores pretende-se avaliar se o serviço prestado aos utilizadores no ano a que se refere a avaliação foi adequado, nomeadamente ao nível da maior ou menor acessibilidade física e económica que têm ao serviço e da qualidade com que o mesmo lhes é fornecido. Subdivide-se este grupo nos dois aspetos referidos: acessibilidade do serviço aos utilizadores e qualidade do serviço prestado aos utilizadores.

2.2.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL

Através deste tipo de indicadores pretende-se avaliar se estão a ser tomadas as medidas básicas para que a prestação do serviço seja sustentável. Este grupo subdivide-se nos aspetos de sustentabilidade económica do serviço, na sustentabilidade infraestrutural do serviço e na produtividade física dos recursos humanos.

2.2.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Através deste tipo de indicadores pretende-se avaliar o nível de salvaguarda dos aspetos ambientais associados às atividades da entidade gestora. Este grupo está subdividido em aspetos de eficiência na utilização de recursos ambientais e na prevenção da poluição.

Foram definidos dezasseis indicadores de qualidade do serviço de gestão de resíduos urbanos, apresentados na tabela A1 do ANEXO A, com indicação do seu âmbito de aplicação em função do tipo de sistema.

2.3 SELEÇÃO DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS

As métricas propostas pela ERSAR permitem avaliar e comparar o desempenho de sistemas municipais de gestão de resíduos urbanos, não sendo apropriados para avaliar e principalmente comparar em específico com o caso da gestão de resíduos hospitalares, que aqui se trata, até porque a informação disponível não inclui o esforço de recolha.

Apesar disto, dos indicadores propostos pela ERSAR, e tendo em conta o âmbito específico deste estudo de caso, foram considerados um conjunto de indicadores ambientais, de gestão do serviço e de operação como referido nas subsecções seguintes.

2.3.1 INDICADORES AMBIENTAIS

Os indicadores ambientais permitem obter métricas relativas ao uso de recursos ambientais e às emissões para o ambiente.

A utilização de recursos ambientais, inclui entre outros a utilização de combustíveis fósseis (gasóleo), energia (eletricidade), matérias-primas auxiliares (sacos de embalagem em plástico, água de processo, cal, ureia, óleos e lubrificantes), utilizados nas diferentes fases do processo de gestão (alocação, recolha, transporte e tratamento), referidos à unidade de massa de resíduos geridos.

As emissões gasosas para o ambiente incluem por um lado a quantidade total de emissão de gases com efeito de estufa, com origem nos veículos de recolha de resíduos e na reação de incineração dos próprios resíduos.

2.3.2 INDICADORES DE GESTÃO DO SERVIÇO

Os indicadores de gestão do serviço respeitam aos custos e benefícios económicos e financeiros resultantes da atividade de gestão dos resíduos. O nível de sustentabilidade da gestão do serviço em termos económico-financeiros, respeita à cobertura dos gastos totais, no que diz respeito à capacidade da empresa para gerar meios próprios de cobertura dos encargos que decorrem do desenvolvimento da sua atividade, calculando-se como o rácio entre os rendimentos e ganhos totais e os gastos totais. Neste âmbito poderia ainda incluir-se indicadores mais específicos tais como aqueles que envolvem a produtividade do serviço, tendo em conta o número e o custo com os colaboradores afetos ao serviço.

2.3.3 INDICADORES OPERACIONAIS

Os indicadores operacionais em específico não são considerados pela ERSAR, mas enquadram-se nos princípios gerais de indicadores da subcategoria de sustentabilidade infraestrutural. Os indicadores de desempenho operacional descrevem as condições operacionais do sistema e refletem a adequação da utilização de recursos tecnológicos e humanos. Os indicadores operacionais veiculam informação relativa a consumo de recursos (consumíveis do processo e de manutenção), traduzidas como quebras à capacidade nominal de processamento das infraestruturas (tais como perdas de tempo por avarias ou outras razões) o cumprimento de metas de produtividade dos colaboradores (no âmbito das tarefas administrativas, de operação e manutenção), e evidentemente os índices de utilização de recursos tendo em conta os valores garantia fixados pelo fabricante.

2.4 INFRAESTRUTURAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS

A gestão de resíduos atual exige um conjunto de infraestruturas e um modelo de exploração apropriado que respeite um conjunto de disposições legais e operacionais, tais como as condições que são definidas pela Licença Ambiental, pelo Caderno de Encargos e pelo Manual de Operação da infraestrutura ambiental.

2.4.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

A Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP) veio proporcionar uma nova perspetiva às tradicionais estratégias sectoriais de combate à poluição, vindo reconhecer que a abordagem integrada no controlo da poluição favorece a proteção do ambiente no seu todo.

A Diretiva 2010/75/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de novembro, relativa às Emissões Industriais (DEI), revogou, a partir de 7 de janeiro de 2014, a Diretiva 2008/1/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de janeiro de 2008, relativa à PCIP, com a alteração dada pela Diretiva 2009/31/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (Diretiva PCIP).

Estão abrangidas pelo cumprimento da Diretiva certas atividades económicas a que está potencialmente associada uma poluição que se considera significativa e que é definida de acordo com a natureza e/ou a capacidade de produção das instalações. O funcionamento das instalações onde se desenvolvem atividades PCIP está condicionado à obtenção de uma Licença Ambiental.

A Agência Portuguesa do Ambiente é a autoridade competente para emitir a Licença Ambiental. O princípio da Licença Ambiental foi consagrado em Portugal pelo Decreto-Lei nº 194/2000, de 21 de Agosto, entretanto revogado pelo Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto (Diretiva PCIP).

2.4.2 CADERNO DE ENCARGOS

O Caderno de Encargos é um documento obrigatório no âmbito de um concurso a um projeto no qual se encontra descrito as especificações técnicas para a construção e exploração a que os concorrentes estão obrigados para efeitos de apresentação de propostas ao concurso nomeadamente o caudal de resíduos a tratar, as especificações dos resíduos e as condições legais a que o processo está sujeito.

2.4.3 ARTICULAÇÃO E DISPOSIÇÃO PROCESSUAL DA INFRAESTRUTURA (LAYOUT)

A instalação de incineração respeita à articulação dos diferentes componentes da infraestrutura de gestão. No caso de uma unidade de incineração de resíduos perigosos, o principal foco é o de garantir a eliminação dos problemas de perigosidade que se colocam aos resíduos, ou seja o incinerador propriamente dito. Porém há a necessidade de arrefecer os gases procedendo-se em geral à recuperação de calor, bem como ao

tratamento dos efluentes gasosos (remoção de gases ácidos, das partículas, controlo de NOx e de certos compostos orgânicos e metais) antes de descarregar na atmosfera. Dispositivos de controlo de escórias deve estar também previsto complementarmente à instalação que deve estar concebida para poder adicionar combustível auxiliar caso a temperatura de incineração não possa atingir os níveis fixados pela legislação.

O modo como as diferentes unidades se articulam permitem uma perceção mais adequada do processo. As instalações de incineração geralmente dispõem de um conjunto de componentes essenciais entre os quais: câmara de combustão primária com alimentação de resíduos, sistemas de extração de cinzas e ventilador de ar primário; câmara secundária com sistema de pós-combustão e ventilador de ar secundário; caldeira de recuperação para produção de vapor saturado e na última fase do processo um sistema de tratamento de gases. A disposição física no espaço das diferentes unidades processuais da infraestrutura designa-se *layout*.

2.4.4 MANUAL DE OPERAÇÃO

O Manual de Operações constitui uma peça documental que contém o descritivo detalhado dos componentes do sistema bem como e os procedimentos operacionais a que a infraestrutura pode ser sujeita no âmbito da operação de incineração de resíduos, incluindo ainda os procedimentos de arranque, paragem e manutenção. Este manual deve estar em conformidade com o modelo de operação e controlo automático programado nos computadores que operam e monitorizam os diferentes dispositivos da instalação, bem como os procedimentos em que os operadores podem intervir.

2.4.5 REGISTOS DE OPERAÇÃO

A operação de incineração é objeto de monitorização e registo contínuo, com uma frequência apropriada, através da leitura de instrumentos de medida instalados em pontos estratégicos do processo, iniciando na alimentação de resíduos até à emissão de gases. O objetivo da monitorização é o de poder antecipar as ações de controlo que são necessárias à manutenção de uma operação estável em termos das variáveis processuais e ambientais.

2.5 MODELO TERMODINÂMICO DE ANÁLISE DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO

A incineração de resíduos é um processo pelo qual ocorre a reação exotérmica de oxidação dos resíduos com ar (combustão), dando origem fundamentalmente a CO₂, vapor de água e cinza. O calor libertado pela reação de combustão traduz-se na elevada temperatura com que os produtos de combustão ocorrem, sendo depois transferido por condução, convecção e radiação para os componentes do incinerador (permutador ou recuperador de calor).

O modelo termodinâmico que se descreve baseia-se nos balanços mássico e energético a um processo aberto com reação química a pressão constante. A partir do modelo termodinâmico desenvolvido e em função da natureza e do caudal de resíduos a tratar deverá ser possível poder determinar a composição e o caudal dos diferentes produtos (gases e de cinza) e determinar a quantidade de energia disponível. Tendo em conta as dimensões dos diferentes órgãos da instalação de incineração, o modelo termodinâmico deverá ainda permitir calcular algumas das variáveis do processo, tais como, temperaturas, tempos de residência, o excesso de ar, velocidades, etc. O confronto entre os resultados do exercício do modelo termodinâmico e os resultados observados constantes dos registos operatórios requer a aplicação de técnicas estatísticas que tenham em conta a incerteza dos registos medidos, entre as quais as técnicas de reconciliação de dados. São ainda indispensáveis a sensibilidade e o bom senso no referido estudo comparado.

Através da análise das variáveis do processo de incineração é possível efetuar uma análise dos eventos e assim corrigir a operação, para que esta respeite as regras que estão estabelecidas, entre outras os Valores Limite de Emissão.

2.5.1 BALANÇO MÁSSICO

O balanço de massa é um procedimento fundamental para a análise de um processo, já que estabelece a relação fundamental da conservação da massa, ligando as quantidade de reagentes e de produtos, quer as fronteiras do sistema analisado sejam abertas ou fechadas. Na elaboração do balanço mássico devem ser bem definidos o volume de controlo (pode ser um processo completo, um equipamento ou um conjunto de equipamentos) e as correntes materiais que atravessam as fronteiras do volume de controlo.

No caso de um processo de incineração este decorre geralmente num sistema aberto. A equação genérica de balanço mássico pode ser dada por:

$$\text{Resíduos} + \text{Ar} = \text{Gases} + \text{Escórias} \quad (\text{Eq 2.1})$$

O processo tem assim como reagentes principais os resíduos a incinerar e o ar de combustão (primário e secundário), sendo comum a utilização adicional de combustível auxiliar e por vezes a adição direta de água para ajudar a controlar a temperatura de combustão.

2.5.1.1 REAGENTES DE INCINERAÇÃO

A composição dos resíduos a incinerar pode ser expressa em termos da composição elementar ponderal referida em base seca: w_{CR} , w_{HR} , w_{OR} , w_{NR} , w_{SR} , [kg elemento j/kg R (base seca)] e da composição próxima expressa em termos da fração de mássica de cinzas w_{ZR} , [kg de cinzas / kg R] e da razão mássica da humidade em base seca [kg água/kg R]A

$$W_{WR} = \frac{w_{WH}}{(1 - w_{WH})} \quad (\text{Eq 2.2})$$

O ar admitido à combustão é retirado do ambiente atmosférico à temperatura (T_A) e com humidade relativa (HR). A composição do ar seco (A) é conhecida (0,21/0,78/0,01 para $O_2/N_2/Ar$) e pode ser expressa como rácio referida por kmole de oxigénio, ou seja $O_2 = 1$ [kmol O_2 /kmol O_2]

Para o azoto [kmol N_2 /kmol O_2]

$$\left(\frac{1 - y_{ArA} - y_{O_2A}}{y_{O_2A}} \right) = 3.76 \quad (\text{Eq 2.3})$$

Para a humidade do ar [kmol H_2O /kmol O_2], tendo em conta a razão de mistura (W_{VA}) [kg H_2O /kgA] que se determina a partir da temperatura do ar e da humidade de relativa num diagrama psicrométrico, vem

$$W_{VA} \left(\frac{1}{y_{O_2A}} \right) \left(\frac{M_A}{18} \right) = 7.66 W_{VA} \quad (\text{Eq 2.4})$$

2.5.1.2 EXCESSO DE AR (Z)

A fornalha não é um reator ideal, existe heterogeneidades na composição, isto é, o combustível e o comburente não têm uma distribuição uniforme, originando-se

resistências à transferência de calor e de massa que fazem com que a reação de combustão seja incompleta, produzindo não queimados. Para compensar o efeito desses fenômenos, na prática, todos os incineradores operam com excesso de ar, relativamente à estequiometria. O excesso de ar, z , define-se em percentagem através de:

$$Z = 100 \left(\frac{W_a}{W_s - 1} \right) \quad (\text{Eq 2.5})$$

Ou em alternativa por razão de equivalência, definindo-se como:

$$\lambda = \left(\frac{W_a}{W_s} \right) \quad (\text{Eq 2.6})$$

O consumo estequiométrico de oxigénio traduz-se por:

$$W_s = (32) \left(\sum \frac{Y_{s,j} W_{jR}}{M_j} - \frac{W_{OR}}{32} \right) \quad (\text{Eq 2.7})$$

Nas referidas circunstância a quantidade actual de oxigénio necessária ao processo é dada por:

$$W_a = W_s \left(\frac{1+z}{100} \right) \quad (\text{Eq 2.8})$$

A quantidade de ar atual W_{AR} [kgAir/kgR] é dada através de:

$$W_{AR} = \left(\frac{M_A}{y_{O_2,A} M_{O_2}} \right) W_a \quad (\text{Eq 2.9})$$

2.5.1.3 PRODUTOS DE INCINERAÇÃO

Produtos da combustão são produtos gasosos e cinzas. Em relação aos produtos gasosos os principais são CO_2 , H_2O , O_2 e N_2 , também são produzidos poluentes como CO , H_2 , HC e em alguns casos, também pode ocorrer gases não queimados como SO_2 , NO_x , HCl , HF e certos micro poluentes orgânicos.

A abundância por unidade de massa de mistura de resíduos R a incinerar, em base seca, por n_{iR} [kmole de gás i produzido/kg R].

A composição ponderal do resíduo é constituída pela parte inerte à combustão que são as cinzas e possível parte orgânica, essencialmente composta por carbono. Abandona o

sistema principalmente como escória (E) ou por resíduos volantes (V) a acompanhar o efluente gasoso.

A abundância em relação ao resíduo tratado pode exprimir-se através de w_{VR} [kg de resíduo incinerado volante V base seca/kg de R] e w_{ER} [kg de resíduo incinerado escória E base seca/kg de R].

A composição em termos do teor de cinza pode exprimir-se por w_{ZV} [kg de cinza/kg de resíduo incinerado volante] e w_{ZE} [kg de cinza/kg de resíduo incinerado escória].

Admite-se que o resíduo incinerado é constituído apenas por cinza e carbono, $W_{CV} = 1 - W_{ZV}$ [kg de carbono/kg de resíduo incinerado volante] e $w_{CE} = 1 - w_{ZE}$ [kg de carbono/kg de resíduo incinerado escória].

$$w_{CE} = 1 - w_{ZE} \quad (\text{Eq 2.10})$$

O balanço mássico é feito a elemento [kmol elemento j / kg mistura de resíduos a incinerar R, base seca] com:

Para o carbono,

$$\frac{w_{CR}}{12} = n_{CO_2} + C + \frac{[w_{CV} \cdot W_{VR} + w_{CE} \cdot W_{ER}]}{12} \quad (\text{Eq 2.11})$$

Para o hidrogénio,

$$\frac{w_{HR}}{2} + \frac{w_{WR}}{18} + \left(\frac{W_a}{32} \right) W_{VA} (7.66) = n_{H_2O} + n_{H_2} \quad (\text{Eq 2.12})$$

Para o azoto,

$$\frac{w_{NR}}{28} + \left(\frac{W_a}{32} \right) (3.76) = n_{N_2} \quad (\text{Eq 2.13})$$

Para o enxofre,

$$\frac{w_{SR}}{32} = n_{SO_2} \quad (\text{Eq 2.14})$$

Para o oxigénio,

$$\frac{w_{OR}}{32} + 0.5 \frac{w_{WR}}{18} + \left(\frac{W_a}{32} \right) [1 + 0.5 W_{VA} (7.66)] = n_{CO_2} + \frac{n_{H_2O}}{2} + \frac{n_{CO}}{2} + n_{O_2} + n_{SO_2} \quad (\text{Eq 2.15})$$

Para a cinza,

$$w_{ZR} = w_{zv} W_{VR} + w_{ZE} W_{ER} \quad (\text{Eq 2.16})$$

2.5.2 BALANÇO DE ENERGIA

Através do balanço energético é possível saber qual a energia disponível no processo de incineração. A base teórica para um balanço energético é a primeira lei da termodinâmica. O princípio da conservação de energia, baseia-se no conceito de que num sistema isolado em qualquer parte do universo existe uma quantidade de energia mensurável que se designa por energia interna do sistema. Esta é a energia cinética e potencial total dos átomos e moléculas de todos os tipos do sistema que podem ser transferidos diretamente sob a forma de calor. O valor da energia interna apenas pode ser alterado se o sistema deixar de estar isolado. Podendo ser alterado por transferência de massa de ou para o sistema, por transferência de calor de ou para o sistema ou pela realização de trabalho sobre ou pelo sistema, o balanço energético ao incinerador é dado por:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{dos} \\ \text{resíduos} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{do ar} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Energia de} \\ \text{resíduos} \\ \text{incinerados} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Energia de} \\ \text{combustão} \\ \text{dos gases} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{útil} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{dissipada} \end{array} \right) \quad (\text{Eq 2.17})$$

Os principais componentes do balanço de energia são: o calor sensível dos materiais, calor de mudança de fase líquido-vapor expresso como o calor latente de vaporização da água (depende do teor de humidade dos resíduos), o calor de reação química expresso como o poder calorífico inferior (PCI) dos resíduos, a energia útil e energia perdida por radiação e convecção.

Quando se refere a calor sensível dos reagentes (resíduos + ar) [J / kg R base seca] é referida a energia térmica que é proporcional à diferença de temperatura entre a temperatura dos reagentes e a temperatura de referência de T^0 fixada arbitrariamente em 298 K, exprimido através de:

$$\Delta H_s = \sum n_i M_i c_{p_i} (T - T^0) \quad (\text{Eq 2.18})$$

c_{p_i} [J/kg.K] é o calor específico médio referente à espécie i entre T^0 e T

$$\Delta H_s, \text{ reagentes} = [1.c_{p_R} + w_{WR} c_{p_w}] (T_R - T^0) \quad (\text{Eq 2.19})$$

Em que $c_{p_R} = 1000$ J/kg.K, e $c_{p_w} = 4187$ J/kg.K

Relativamente ao calor latente dos reagentes [J / kg R base seca] geralmente, é a energia térmica relacionadas com uma mudança de fase (de líquido a vapor) dado por:

$$\Delta H_L = \sum n_j M_j h_{j,wv,T^0} \quad (\text{Eq 2.20})$$

h_{j,wv,T^0} [J/kg j] é o calor latente de vaporização da água à temperatura de referência T^0 (considerando o estado de vapor como estado de referência).

$$\Delta H_{L, \text{reagentes}} = w_{WR} \cdot h_{j,wv,T^0} \quad (\text{Eq 2.21})$$

O calor da reação de reagentes [J / kg R base seca] está relacionado com a energia da reação química (proveniente das ligações químicas entre os elementos químicos que compõem o combustível (resíduos) à temperatura de referência T , traduzido por:

$$\Delta H_R = \sum n_j M_j PCI_R \quad (\text{Eq 2.22})$$

$PCI_j (\Delta h_{j,comb(g), T^0})$ [J/kg j] é o calor de combustão à temperatura de referência T^0 .

$$\Delta H_{r, \text{reagentes}} = PCI_R \quad (\text{Eq 2.23})$$

A entalpia da reação de combustão, a pressão constante e à temperatura de referência T^0 em que a água formada como produto se encontra no estado gasoso é também conhecida como Poder Calorífico Inferior (PCI_R) que é entalpia de reação a pressão constante, dado por:

$$PCI_R = PCS_R - w_{WR} (21.98 \times 10^6) \quad (\text{Eq 2.24})$$

PCS ou PCI é determinado a partir dos PCI dos componentes orgânicos da mistura e da respetiva abundância na mistura.

A energia dos produtos é a soma dos gases de combustão e resíduos incinerados, nas formas de calor sensível (ΔH_s), calor latente de vaporização (ΔH_L) e calor de reação (ΔH_r), traduzida por:

$$\Delta H_{\text{produtos}} = \Delta H_s + \Delta H_L + \Delta H_r \quad (\text{Eq 2.25})$$

O calor sensível de produtos [J / kg em base de R seca], consiste na energia dos gases de combustão que resulta da combustão de resíduos no incinerador, e a energia que está contida no resíduo incinerado dado por:

$$\Delta H_s = \sum n_j M_j cp_j (T - T^0) \quad (\text{Eq 2.26})$$

Em que n_j [kmol j/kg R] refere a quantidade de cada produto da reação, estando determinada no balanço mássico;

cp_j [J/kg.K] é o calor específico médio referente à espécie i entre T^0 e T_G , que é a temperatura dos gases.

$$\Delta H_{\text{produtos}} = \left[\sum n_{jR} M_j cp_j + w_{zv} W_{VR} cp_z + w_{cv} W_{VR} cp_c \right] (T_G - T^0) + \left[w_{ze} W_{ER} cp_z + w_{ce} W_{ER} cp_c \right] (T_E - T^0)$$

(Eq 2.27)

cp_c [J/kg.K] e cp_z [J/kg.K] são respetivamente a capacidade calorífica média do carbono e da cinza entre T^0 e T_E , que é a temperatura das escórias.

O calor latente dos produtos [J / kg mistura R em base seca], é a energia térmica considerada quando uma substância muda de fase dado através de:

$$\Delta H_L = \sum n_j M_j h_{j,wv, T^0} \quad (\text{Eq 2.28})$$

h_{j,wv, T^0} [J/kg j] é o calor latente de vaporização de cada substância j , à temperatura referência T^0 , geralmente considerando-se apenas a água.

O calor da reação dos produtos [J / kg mistura R em base seca] refere-se aos produtos não queimados, que são gases combustíveis (CO, H₂, HC'S), carbono sólido em escórias e cinzas. Sendo dado por:

$$\Delta H_{r, \text{produtos}} = \sum n_{jR} M_j PCI_j + \left[w_{cv} W_{VR} + w_{ce} W_{ER} \right] PCI_{\text{carbono}} \quad (\text{Eq 2.29})$$

$j = \text{H}_2, \text{CO} \text{ e } PCI_{\text{Carbono}, @288K} = 32.79 \text{ MJ/kg carbono}$

Quanto há energia útil, $\Delta H_{\text{útil}}$ [J / kg mistura R em base seca], está relacionada com um sistema de recuperação de energia (a caldeira) que extrai energia térmica (calor) a partir dos gases de combustão quentes, transferindo-o para a água, a fim de produzir vapor de água a alta temperatura e alta pressão a fim de ser enviado para produção de uma ou mais utilidades (vapor de processo ou trabalho mecânico numa turbina).

No que respeita à energia dissipada todos os sistemas de conversão de energia térmica estão sujeitos à perda de calor pela periferia (pelas paredes), apesar do isolamento térmico. Um fluxo de calor (energia) é perdido na superfície exterior do sistema de incineração por convecção, radiação e condução. As perdas dependem do isolamento térmico, do tipo de incinerador, da operação e do estado de conservação da instalação, sendo representado por $\Delta H_{\text{dissipadal}}$ [J / kg mistura R em base seca]. Na realização do exercício do balanço energético no presente caso de estudo, admitiu-se que a energia dissipada é 5% da energia dos reagentes.

2.6 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UNIDADES DE INCINERAÇÃO

As métricas a considerar para efeitos de avaliação de desempenho dependem do tipo de entidade a que se destinam: a operação, a supervisão e/ou os cidadãos.

Aos operadores importa realizar a operação respeitando a Licença Ambiental com o mínimo de custos e o máximo de benefícios; aos supervisores importa assegurar o cumprimento da legislação ambiental e aos cidadãos importa que a operação satisfaça as suas necessidades de qualidade de vida (ambiente e saúde) com custos aceitáveis.

2.6.1 MÉTRICAS DE OPERAÇÃO

2.6.1.1 QUANTIDADE DE RESÍDUOS TRATADOS

A métrica da quantidade de resíduos tratados indica a quantidade de resíduos tratados semanalmente.

2.6.1.2 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL AUXILIAR

A métrica do consumo de combustível auxiliar traduz o consumo de combustível auxiliar por tonelada de resíduos tratados, numa infraestrutura de gestão de resíduos. O consumo de combustível auxiliar pode ser também calculado numa base semanal.

2.6.1.1 CONSUMO DE ÁGUA

A métrica do consumo de água, indica a quantidade de água utilizados por tonelada de resíduos tratados.

2.6.1.2 CONSUMO DE UREIA

A métrica do consumo de ureia traduz a quantidade de ureia utilizada por tonelada de resíduos tratados, numa infraestrutura de gestão de resíduos.

2.6.1.3 CONSUMO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

A métrica do consumo de ureia traduz a quantidade de Ca(OH)_2 utilizado por tonelada de resíduos tratados numa infraestrutura de gestão de resíduos.

2.6.1.4 UTILIZAÇÃO DE ELETRICIDADE

A métrica do consumo de eletricidade indica a quantidade de eletricidade utilizada por tonelada de resíduos tratados numa infraestrutura de gestão de resíduos.

2.6.1.5 NÚMERO DE TRABALHADORES

A métrica referente ao número de trabalhadores traduz a quantidade de operadores envolvidos em equivalente de dedicação total à operação da infraestrutura numa base diária ou outra e a quantidade de resíduos tratada durante o mesmo período de tempo.

2.6.1.6 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

A métrica referente à recuperação de energia refere-se a quantidade de calor ou trabalho aproveitado como utilidade. Uma das formas mais usuais recuperar energia é através da produção de vapor. Nestas circunstâncias o indicador de recuperação de energia determina tendo em conta o caudal médio de vapor produzido referente a um dado período de tempo e a quantidade de resíduos tratada durante o mesmo período de tempo.

2.6.2 MÉTRICAS AMBIENTAIS

As métricas ambientais dizem respeito ao cumprimento dos valores limite de emissão de poluentes para a atmosfera expressos em condições normalizadas e calculados de acordo com as especificações do DL nº 85/2005, de 28 de Abril, respeitando a um conjunto de parâmetros que são objeto de monitorização em contínuo (CO, HCl, HF, SO₂, NO_x, COT, NH₃, partículas) e outras que são monitorizadas pontualmente no ano (dioxinas, furanos, metais pesados e COVS).

3 CASO DE ESTUDO

A aplicação do modelo de avaliação de desempenho atrás considerado foi ensaiada com base num caso de estudo relativo a uma incineradora de resíduos hospitalares e de matadouro.

No presente capítulo reporta-se o estudo de análise do desempenho técnico e ambiental de uma incineradora, realizado com base nos dados de exploração da instalação. Para o efeito em primeiro lugar é realizada uma caracterização geral da instalação, e em seguida é feita referência às condições de admissão de resíduos e de funcionamento, às condições de cumprimento de valores limite de emissão para a atmosfera, valores limite de emissão presentes na licença ambiental, DL nº 85/2005, de 28 de Abril, protocolo de exploração, no documento BREF e valores garantia presentes no Protocolo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA INSTALAÇÃO

A IIRHM dispõe de duas linhas de incineração independentes, tendo como componentes essenciais a câmara de combustão primária com alimentação de resíduos e faz uso de gasóleo como combustível auxiliar, os sistemas de extração de cinzas e ventilador de ar primário, a câmara secundária de pós-combustão e ventilador de ar secundário, a caldeira de recuperação para a produção de vapor saturado, o sistema de tratamento de gases, consistindo em depurador de gases, o filtro de mangas para partículas e o ventilador de triagem induzida.

A Instalação de Incineração de Resíduos Hospitalares e de Matadouro (IIRHM) objeto deste trabalho foi dimensionada para uma capacidade de tratamento de 0,5 t/h por cada uma das duas linhas de tratamento que possui (linha 31 e linha 32), funcionado alternadamente para um PCI de 17400 kJ/kg para resíduos hospitalares (RH) e 2000 kJ/kg para resíduos de matadouro (RM), operando em contínuo mas apenas durante dezasseis horas diárias de alimentação de resíduos sob a forma de cargas a cada 5 a 6 minutos, durante 5 a 6 dias por semana, ficando após este tempo sujeita a paragem e arrefecimento para manutenção semanal. A adição de combustível auxiliar ocorre durante o arranque da instalação e durante os períodos noturnos sem alimentação de resíduos ou sempre que o poder calorífico dos resíduos assim o justifique.

O processo de incineração decorre em duas fases sucessivas: combustão primária onde ocorre a combustão na fase sólida e combustão secundária onde ocorre a combustão

gasosa (*afterburning*). A temperatura dos gases de combustão secundária atinge os 1100°C durante 2 segundos no caso da incineração de resíduos hospitalares mas bastaria apenas 850°C no caso de resíduos de matadouro. Após a combustão, a energia térmica dos gases de combustão é recuperada sob a forma de vapor de água saturado a 10 bar, destinado a um utilizador nas proximidades, devolvendo condensados.

Os componentes processuais da instalação em causa são os indicados na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Diagrama do processo da IIRHM

3.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

A IIRHM deve ser operada de modo a garantir as condições adequadas à incineração dos resíduos e de acordo com o estabelecido na Secção I do capítulo III do DL nº 85/2005, devem ser aferidas condições em cada linha de tratamento. Assim, os gases resultantes do processo de combustão dos resíduos, após a última injeção de ar de combustão, permanecem, durante pelo menos dois segundos, a uma temperatura igual ou superior a 850°C para resíduos de matadouro ou 1100°C para resíduos hospitalares, de uma forma controlada e homogénea.

A incineração de RH decorre de forma segregada em relação aos resíduos de matadouro, pois as temperaturas de incineração na câmara de incineração secundária são diferentes relativamente aos RM.

Mesmo nas condições mais desfavoráveis, quer se trate de resíduos não perigosos ou resíduos perigosos com um teor superior a 1% de substâncias orgânicas halogenadas, expresso em cloro, os queimadores auxiliares são ativados automaticamente sempre que

a temperatura dos gases de combustão, após a última injeção de ar de combustão, seja inferior a 850 °C ou 1100°C, conforme o resíduo.

Para assegurar constantemente a temperatura mínima, de acordo com o tipo de resíduo, o sistema automático de encravamento da alimentação de resíduos atua nas condições de arranque, enquanto não seja atingida a temperatura de 850°C ou de 1100°C, conforme o resíduo, e sempre que o sistema de monitorização em contínuo das emissões atmosféricas indique que foi excedido qualquer dos valores limite de emissão de poluentes estabelecidos, devido a perturbações ou avarias dos dispositivos de tratamento.

3.2.1 ADMISSÃO DE RESÍDUOS

Os resíduos hospitalares chegam à unidade de incineração em contentores de plástico hermeticamente fechados, que são incinerados com os resíduos, enquanto que os resíduos de matadouro chegam no interior de contentores, acondicionados em sacos de plástico de 120 e 240 litros, sendo estes reutilizáveis. O modelo de gestão destes resíduos, prevê a sua refrigeração enquanto aguardam a incineração.

A admissão de resíduos à instalação é efetuada por cargas de cerca de 40kg e cerca de 10 cargas por hora no caso de RH, por forma a não ultrapassar significativamente o valor recomendado de 418kg/hora. No caso de RM cada carga pode ser significativamente maior mas por forma a não ultrapassar cerca de 500kg/h em conformidade com o Manual de Exploração da instalação.

3.2.1.1 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS HOSPITALARES

Segundo Alvim et. al. 2003, a sua composição é diretamente afetada pelo tipo/classificação de resíduos, práticas de separação e metodologia de gestão. Podendo conter resíduos como plásticos, papel, metais, vidro, resíduos alimentares, resíduos patológicos, sangue-embebido ataduras e muitos outros tipos de materiais.

Num estudo realizado por Fraiwan et al. 2013, em que não foram diferenciadas os resíduos perigosos e os não perigosos com o intuito de caracterizar a composição dos resíduos hospitalares, demonstrou que os plásticos representam a maior parte dos resíduos hospitalares com 35%, seguindo-se com 23.9 % mistura de resíduos (orgânicos entre outros), 16.7% o vidro, 14 % o papel, 6.7% metal e por último com 3.7% os têxteis.

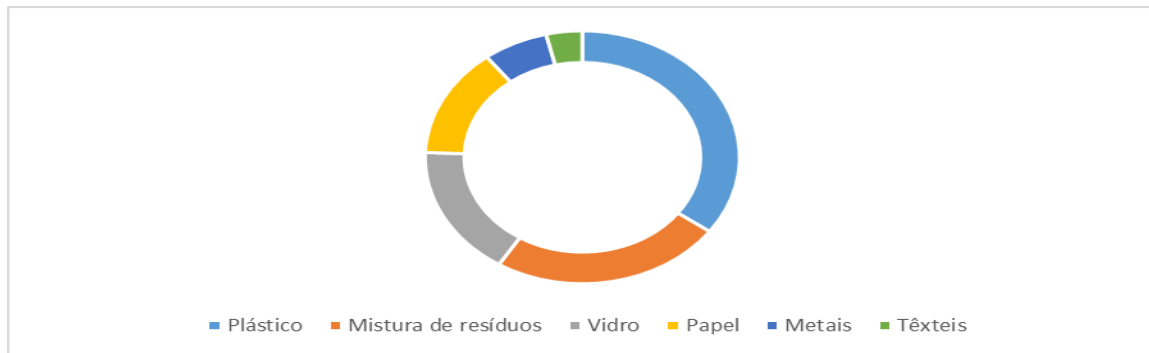


Figura 3.2 - Composição (%) dos resíduos hospitalares (Fraiwan et al., 2013)

Num outro estudo sobre a composição de resíduos perigosos realizados por Taghipour and Mosaferi (2008), demonstra que o plástico possui a maior parcela dos resíduos perigosos com 37%, seguida pelos têxteis com 28 %, com 16.7% os líquidos, 11.4% o papel, 7.2% o vidro, com a menor parcela os perfurantes e finalmente 6.8 % outro tipo de resíduos.

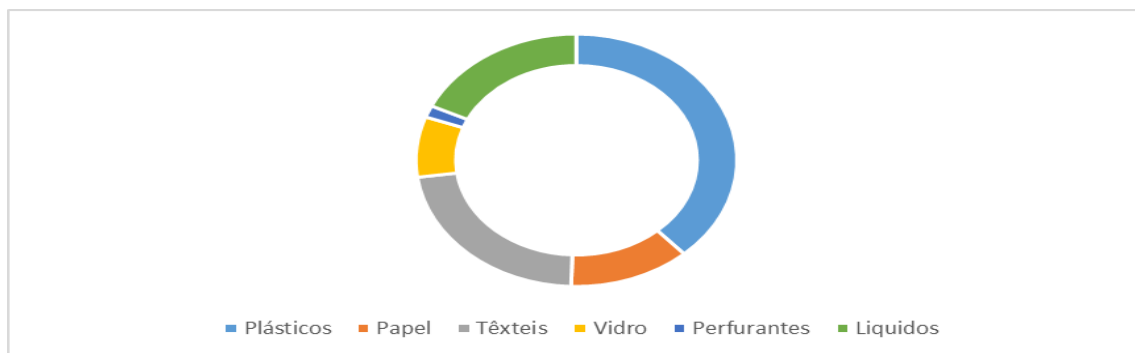


Figura 3.3 - Composição (%) dos resíduos perigosos (Taghipou and Mosaferi, 2008)

Como é possível verificar, os resíduos hospitalares são uma mistura muito heterogênea e o conhecimento da sua composição é essencial para desenvolver um modelo de balanço mássico fidedigno.

3.2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MATADOURO

O abate de animais é uma grande fonte de matéria orgânica, a água, gordura, proteína e minerais são as quatro componentes gerais das carcaças animais. (Auvermann, Kalbasi, & Ahmed, 2004)

A Comissão Europeia (2003) relata que a água é o componente principal do animal vivo variando entre 70% e os 80%. A carcaça fresca típica contém 32 % de matéria seca dos

quais 52% é proteína, 42% é matéria gorda e 6% são cinzas. Segundo Auvermann et al., 2004, as composições são ligeiramente diferentes para as diferentes espécies. O abate de animais também dá origem a subprodutos não destinados a consumo humano sendo estes menos homogêneos como por exemplo: vísceras, placentas, miudezas e penas de aves, sangue conteúdo intestinal, lamas das estações de tratamento de matadouro, peixe e suas vísceras entre outros. (Oosterom, 1985)

3.2.2 INCINERAÇÃO

O processo da combustão inertiza e esteriliza o material dos resíduos incinerados e reduz significativamente o seu volume. Durante a primeira fase do processo de combustão, a humidade no material dos resíduos é evaporada, a matéria volátil é libertada e queimada na segunda fase do processo de combustão e os restantes combustíveis nos sólidos são queimados em larga medida, deixando apenas cerca de 2% de material não queimado nas cinzas.

O Incinerador é do tipo lareira ou soleira estática (*fixed heart*), sem grelhas, a câmara de combustão primária é composta por uma carcaça exterior de aço equipada com revestimento refratário interno, que tem camadas de isolamento junto à carcaça de aço e uma abóbada de tijolos resistentes ao fogo na metade superior e betão resistente ao fogo ao longo na parte inferior formando um fundo plano. No centro longitudinal, no fundo tem uma vala para recolher o sebo e os líquidos para evaporação e gasificação; tem outras duas valas que servem para o fornecimento de ar ao fundo; ao longo das paredes contém bocais inclinados onde o ar primário é fornecido e três queimadores. Para controle da temperatura possui um sistema de pulverização de água. Possui também um êmbolo de deslocação de cinzas que empurra os resíduos em direção à câmara de combustão de cinzas.

O ar primário é fornecido por um ventilador radial com acionamento de motor assíncrono e um silenciador de admissão, a distribuição de ar é efetuada através de válvulas de compensação e válvulas de vedação.

Durante a queima de resíduos de matadouro há geração de gorduras na câmara de combustão primária, que não se conseguem evaporar ou queimar rapidamente, assim as gorduras são recolhidas para um tanque, são filtradas e posteriormente bombeados para serem injetadas novamente para a câmara de combustão primária com um caudal reduzido durante a operação do queimador para incineração/evaporação.

Os queimadores tem como função o aquecimento das câmaras para o início da incineração, ignição de resíduos, fogo de apoio e para pós-combustão de gases de combustão. Cada queimador da câmara de combustão primária faz parte de uma unidade que engloba o queimador, ventilador de ar e uma bomba de gasóleo.

O efluente gasoso deixa a câmara de combustão primária através da conduta que ligada à câmara de combustão secundária, tendo como capacidade 17.5 m³. O ar secundário é injetado tangencialmente para dentro desta conduta através de bocais de ar secundário com um caudal de alta velocidade, para conseguir uma boa mistura com o efluente gasoso.

Por meio de oxigénio adicional, fornecido com o ar secundário, consegue-se um efeito de fim de combustão, que inicia a queima da matéria volátil e das partículas não queimadas no efluente gasoso.

A combustão é controlada de acordo com o teor de oxigénio nos gases após o permutador de calor, pela pressão na câmara de combustão primária e pela temperatura na câmara de combustão primária e secundária.

3.2.3 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

O permutador de calor reduz a temperatura dos gases de combustão desde a temperatura da câmara de combustão secundária até à temperatura de entrada do depurador de gases, recuperando assim o calor sensível dos gases de combustão para a água da caldeira gerando vapor.

Permutador de calor com tubos de ferro de três passagens, produzindo no máximo 2,8 t/h de vapor saturado a 10 bar (g). Os gases de combustão provenientes do incinerador entram no tubo da caldeira com uma temperatura de 1000°C, durante a incineração de resíduos hospitalares, e aproximadamente 830°C durante a incineração de resíduos de matadouro.

Na parte traseira do permutador, os gases de escape são dirigidos através de uma câmara de retorno para o primeiro feixe de tubos de gases (feixe superior) e regressam à parte dianteira do permutador onde voltam a ser dirigidos através de uma câmara de retorno para o segundo feixe de tubos de gases (feixe inferior) e regressam à parte traseira do permutador, onde abandonam o permutador de calor, fluindo por uma conduta de gases para o depurador de gases da estação de tratamento de gases de combustão.

Durante o percurso dos gases nos tubos da caldeira transferem a maior parte do seu calor para a água, abandonando o permutador de calor a cerca de 250 a 260°C.

É necessário efetuar uma limpeza semanal à caldeira, uma vez que efluente gasoso traz consigo poeira do incinerador para o permutador de calor, a troca do calor para a água é reduzida pelo aumento da sujidade dos tubos, aumentando a temperatura de saída dos gases. A poeira também pode ficar depositada nas câmaras de retorno, o que provoca o desenvolvimento de toxinas e furanos por um processo conhecido como síntese “de novo” onde a temperatura dos gases de combustão é da ordem dos 300 a 350°C.

3.2.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES GASOSOS

A incineradora possui sistemas de tratamento e redução das emissões para a atmosfera, sendo estes, a redução seletiva não catalítica, lavador semi-húmido e filtro de mangas. Estes sistemas de tratamento de efluentes gasosos devem garantir o cumprimento dos valores limite de emissão estabelecidos na licença ambiental em conformidade com DL nº 85/2005.

A manutenção das condições de operação depende do funcionamento do ventilador de tiragem induzida, que assegura a aspiração do efluente gasoso através do sistema completo de incineração e limpeza de gases de combustão até à chaminé, controla a subpressão na câmara de combustão primária e é o suporte da pré-purga da passagem completa do efluente gasoso antes da ignição dos queimadores.

O ventilador de tiragem induzida é um ventilador radial, é diretamente acionado por um motor controlado por um variador de frequência. Este ventilador assegura a existência de depressão (pressão negativa) em todo o sistema, incluindo a câmara de combustão primária através do dispositivo de medição da pressão. O controlador de pressão varia a velocidade através de um conversor de frequência. Os valores nominais para a subpressão na câmara de combustão primária são de -1.5 mbar para o início da alimentação de resíduos da incineração e de -1.5 a -2.5 mbar durante o trabalho contínuo com os resíduos.

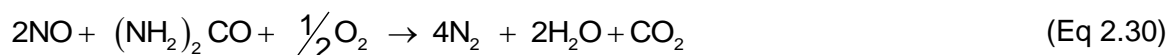
3.2.4.1 REMOÇÃO DE NO_x

Atendendo às elevadas temperaturas de incineração e à natureza dos resíduos, ocorre a formação de óxidos de azoto (NO_x) em quantidades que ultrapassam os valores limite estabelecidos, pelo que é necessário proceder ao respetivo abate. A técnica de controlo

da emissão de NOx usada no processo em estudo estabelece a adição de uma solução de ureia na conduta que liga a câmara de combustão secundária e a caldeira. Trata-se de um processo denominada Redução Não-Catalítica Seletiva (RNCS). (NSCR – Non Selective Catalytic Reduction)). É “seletiva” porque a ureia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) reage primeiro com o NOx e não com o oxigénio ou outro qualquer componente do fluxo gasoso. A ureia é um sólido muito solúvel em água, muito utilizado como fertilizante agrícola. As utilizações como agente de redução de NOx em efluentes gasosos passam pela preparação de uma solução aquosa com 25% a 50% em massa.

O sistema de doseamento de ureia pulveriza a solução de ureia com utilização de ar comprimido para a conduta de gases de combustão, atrás da câmara de combustão secundária, a fim de reduzir a concentração de NOx a um teor abaixo dos valores permitidos. A conduta de abastecimento de ureia passa por um armário de controlo de controlo da mistura, onde também é abastecido de água de processo para diluição de ureia e ar comprimido para pulverização de ureia. O caudal de ureia pulverizada é controlado pelos dispositivos de medição de NOx e de NH_3 nos efluentes gasosos presentes na chaminé. A adição de solução de ureia provoca a diminuição da temperatura do efluente.

O processo de redução de NOx ocorre segundo;



Para obter a redução entre 60% a 80% de NOx nos efluentes gasosos, a RNCS requer uma adição elevada do agente redutor. A utilização de amoníaco pode levar a um aumento das suas emissões de NH_3 enquanto que, a aplicação de ureia leva a emissões relativamente elevadas de óxido nitroso (N_2O), no entanto no Manual de Exploração não fazem qualquer referência ao uso de amoníaco na instalação. No caso do uso de ureia no âmbito de um processo RNCS, as emissões de amoníaco aumentam quando se injeta ureia em excesso e, por outro lado, quando se injeta pouco ureia as emissões de NOx aumentam. Para o doseamento de reagente redutor, importa ainda, a temperatura a que o processo decorre; garantir uma boa mistura do efluente e do reagente; assim como proporcionar um tempo de residência dos gases suficiente de modo a permitir que ocorram as reações de redução do NOx (BREF, 2006).

A introdução de ureia no tratamento de efluentes gasosos deve estar sujeita a um processo de otimização que minimize a emissão quer de NOx quer de NH_3 . Para redução das emissões de NOx se for injetado uma quantidade elevada de reagente, por sua vez leva a um aumento das emissões de NH_3 . Assim é necessário existir um equilíbrio entre a

utilização de reagentes para a redução de um poluente, que tem custos associados, e o cumprimento do VLE. (BREF, 2006)

3.2.4.2 REMOÇÃO DE GASES ÁCIDOS

O depurador de gases é um reator químico onde ocorre a absorção de componentes ácidos do efluente gasoso, a redução da temperatura de saída dos gases provenientes da caldeira de recuperação de energia até valores inferiores abaixo de os 250°C, a fim de proteger as mangas do dispositivo de despoeiramento instalado a jusante (o filtro de mangas) contra os gases com temperaturas elevadas.

O depurador está equipado com um atomizador rotativo, que dispersa mecanicamente, pulveriza o leite de cal (suspensão de Ca(OH)_2 a 5% em massa em água) e a água de processo adicional no caudal do efluente gasoso, formando um aerossol de gotículas com diâmetro médio desejável de 0,5 mm a 0,8 mm, sujeitando-se em seguida à evaporação da água e formando uma nuvem de poeira que absorve os componentes ácidos do efluente gasoso (HCl , SO_2 , HF).

Durante o processo de preparação do leite de cal, é adicionado carvão ativado, que deste modo também é pulverizado no caudal dos gases de combustão, tendo capacidade de absorver metais pesados (mercúrio, dioxinas e furanos).

A água do leite de cal evapora-se quando passa pelo depurador de gases enquanto que os produtos de reação sólida, o carvão ativado e a cal não reagida são arrastados com o efluente gasoso e em seguida recolhidos no despoeirador, nas mangas do filtro de mangas. Esta evaporação de água reduz simultaneamente a temperatura do efluente gasoso para 150°C, protegendo as mangas do filtro, a eficiência da absorção da cal que aumenta com a diminuição de temperatura.

O doseamento de suspensão de leite de cal ao reator de neutralização é controlado a partir da medida do teor de gases ácidos da chaminé (HCl , HF , SO_2)

O SO_2 é removido segundo a equação 2.31, HCl conforme a equação 2.32 e o HF pela equação 3.33.



3.2.4.3 REMOÇÃO DE PARTÍCULAS

No filtro de mangas é feita a separação das partículas sólidas dos gases de combustão, é assegurado que são atingidos os níveis de emissão de poeiras permitidos, ficando retido no bolo de filtração produtos da pós-reação dos componentes ácidos dos gases de combustão, bem como metais pesados e dioxinas.

Os gases de combustão provenientes do depurador de gases são direcionados pela conduta de gases de combustão para a entrada do filtro de mangas na câmara de gases não tratados do filtro de mangas, fluindo da parte exterior das mangas/caixas do filtro para a parte interior. Quando os gases de combustão passam através das mangas do filtro, as partículas sólidas ficam retidas contra a superfície das mangas, formando um bolo de filtração que suporta a retenção de poeiras, conforme o bolo de filtração vai aumentando durante a operação, a queda de pressão através das mangas do filtro também aumenta. Quando a pressão atingir o valor limite ajustável, o dispositivo de limpeza é ativado, isto é consiste num braço giratório com um bocal, que está instalado na câmara de limpeza de gases, sobre as aberturas de saída das mangas/caixas do filtro, é soprado ar comprimido sobre as mangas/caixas submetendo as mangas do filtro a refluxo. O bolo de filtração é separado da superfície das mangas do filtro caindo a maior parte na tremonha cônica do filtro, os resíduos posteriormente são recolhidos e armazenados em silos, para posterior inertização e colocação em aterro.

Após tratamento, os gases são monitorizados e enviados para a chaminé onde são direcionados para a atmosfera através do ventilador de tiragem que garante a depressão necessária ao funcionamento da instalação.

3.2.5 *CONTROLO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE INCINERAÇÃO*

Os resíduos sólidos da incineração são fundamentalmente as escórias, retidas na caixa de escórias da câmara de combustão primária, e os resíduos resultantes do sistema de tratamento de gases.

3.2.5.1 EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DE ESCÓRIAS

O êmbolo de deslocação de cinzas empurra os resíduos a intervalos na câmara de combustão primária em direção à câmara de cinzas, o espaçamento destes intervalos está dependente da composição de resíduos.

Os resíduos de incineração das diferentes cargas vão sendo empurrados sucessivamente pelo êmbolo de cinzas de forma a permitir a agitação e o acesso de oxigénio tendo em vista obter a combustão completa (burnout) do material residual. Ao fim do percurso sobre a soleira da câmara de combustão primária, este material residual em fim de combustão é finalmente empurrado para dentro da câmara de cinzas onde podem completar a queima.

Tendo em conta a natureza química das cinzas é importante referir que as elevadas temperaturas (acima de 850°C) são suscetíveis de causar sérios problemas operacionais pois contêm geralmente metais alcalinos (sódio e potássio) que formam compostos com a sílica. Estes compostos fundem e atacam os materiais com que permanecem em contacto, nomeadamente a soleira e as abóbadas fabricadas em material refratário, dando origem a vitrificados que podem acumular-se nas câmaras de combustão, impedindo o regular funcionamento da incineração e impondo custos acrescidos de manutenção.

Posteriormente são descarregadas da câmara de cinzas por meio de um êmbolo de descarga de cinzas evitando assim que ocorra a aglomeração das cinzas.

3.2.5.2 CONTROLO DE RESÍDUOS PRODUZIDOS

A exploração da instalação deve processar-se de modo a atingir um nível de incineração que permita que o teor de carbono total (COT) das escórias/cinzas de fundo seja inferior a 3% ou que a perda de combustão seja inferior a 5% do peso sobre a matéria seca do material. As cinzas são inertizadas e são transportadas e depositadas em aterro.

O armazenamento temporário dos resíduos produzidos na instalação que aguardam o encaminhamento para o destino final é efetuado em locais destinados para o efeito de forma a minimizar a ocorrência de qualquer derrame ou fuga.

3.2.6 ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE EMISSÕES

A estação de monitorização de emissões faz as medições dos caudais, composições e temperaturas dos gases de combustão.

A pressão e temperatura são medidas diretamente na chaminé. O caudal dos gases de incineração é determinado em contínuo pela medida da perda de carga através de uma placa de orifício instalada na conduta de exaustão dos gases. A concentração de poeira é medida diretamente na conduta da chaminé, por um método de absorção de luz. Os

componentes gasosos da mistura em exaustão, tais como o conteúdo em vapor de água, HCl, SO₂, CO, TOC, e NH₃, são analisados por um dispositivo de medição multicompetente a partir de uma amostra gasosa que é extraída dos gases da chaminé, através de linha de amostragem aquecidas para o equipamento de análise baseado em tecnologia FTIR. A análise de O₂ é baseada em tecnologia de medida por paramagnetismo. Na tabela B1 do ANEXO B são apresentadas as gamas de medição dos dispositivos de medição individuais e na tabela C4 do Anexo C mostra os métodos e frequência de medição dos poluentes.

A monitorização, condição e composição das emissões do efluente gasoso são medidas e avaliadas de acordo com a Licença Ambiental da IIRHM e esta está conforme com o DL 85/2005, 28 de Abril. Na realização deste caso de estudo incidiu-se apenas na análise das emissões em que a monitorização é feita em contínuo. As condições de funcionamento normal, valores limite para emissão de poluentes atmosféricos, frequência e método de monitorização das emissões atmosféricas estão apresentados no ANEXO C.

3.3 VALORES GARANTIA (IN PROTOCOLO DE EXPLORAÇÃO)

3.3.1 VALORES GARANTIA DE EMISSÕES

Outros dados técnicos são o teor máximo de sólidos voláteis 0.3 % (peso), o teor máximo de fermentáveis 0.2% (peso), a disponibilidade temporal anual 85 %, o tempo de residência dos gases de combustão a 1100°C de 2 segundos, a emissão sonora de 85 dB(A) a 1 metro de distância do contorno do grupo e ter como quantidade específica de resíduos de depuração de gases 120 kg/t resíduos.

Valores garantia para a de emissão de gases, referentes a 11% de O₂ e gases de combustão secos (in protocolo de exploração)

Tabela 3.1 - Valores garantia de emissões

	Valores médios diários	Valores médios intervalos 30 minutos
Partículas totais	10 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³
HCl	10 mg/Nm ³	60 mg/Nm ³
HF	1 mg/Nm ³	4 mg/Nm ³
SO₂	50 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
NO_x (calculado como NO₂)	200 mg/Nm ³	400 mg/Nm ³
CO	50 mg/Nm ³	100 mg/Nm ³
COT	10 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³
Dioxinas e furanos (PCDP+PCDF)	0.1 mg/Nm ³	
Amoníaco	10. mg/Nm ³	

3.3.2 VALORES GARANTIA DE CONSUMÍVEIS (IN PROTOCOLO DE EXPLORAÇÃO)

Tabela 3.2 – Valores garantia de consumíveis

Consumo	Quantidade
Consumo de combustível auxiliar	≤ 7.200 kg/semana
Consumo elétrico	≤ 220 kWh/t resíduos
Consumo de cal como CaO (95%)	≤ 40 kg/t resíduos
Consumo de cal como Ca(OH) ₂ (95%)	≤ 15 kg/t resíduos
Consumo de carvão activado	≤ 800 g/t resíduo
Consumo de água de processo	Máx. 1.0 m ³ /t resíduos

3.4 MELHORES TÉCNICAS DISPONÍVEIS (BREF)

A utilização de recursos no âmbito da incineração de resíduos indicada ou observada para a instalação pode ser comparada com os registos disponíveis na literatura técnica e nomeadamente com o indicado no BREF (documento de referência sobre as melhores técnicas disponíveis (MTD)) intitulado “Waste Incineration” (Incineração de Resíduos) ou eventualmente nas bases de dados ligadas a análise de ciclo de vida (LCIA) /ex. Ecoinvent).

O BREF “Waste Incineration” reflete a troca de informações efetuada nos termos do nº 2 do artigo 16º da Diretiva 96/61/CE do Conselho (Diretiva IPPC), contém as conclusões relativas às MTD e os níveis de emissão e consumo associados. O âmbito do documento

baseia-se nas secções 5.1 e 5.2 do Anexo 1 da Diretiva 96/61/CE (Diretiva IPPC), na medida em que estas tratam da incineração de resíduos. O âmbito não foi condicionado pelas limitações em termos de dimensão das instalações abrangidas pela Diretiva IPPC, nem pelas definições de resíduo, valorização ou eliminação. Por conseguinte, o âmbito escolhido pretendeu proporcionar uma visão pragmática de todo o sector da incineração, com uma especial incidência nos tipos de instalações e de resíduos mais comuns. O âmbito da Diretiva “Incineração de Resíduos” foi igualmente um fator tido em consideração aquando da decisão sobre o âmbito do documento BREF. Na tabela D1 do Anexo D, estão apresentados os valores de emissões para os poluentes associados às MTD.

3.5 CONTROLO DO PROCESSO DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS

A alimentação de resíduos é antecedida da pesagem através de uma balança, após o que os resíduos são colocados num elevador de resíduos que no final colocam os resíduos numa caixa de alimentação e depois a movimentação de resíduos é feita com o auxílio de um êmbolo de alimentação.

3.5.1 RESÍDUOS HOSPITALARES

Em relação aos RH o caudal de resíduos nominal é de 420 kg/h, o poder calorífico de projeto é de 17400 kJ/kg, o poder calorífico máximo de 23000 kJ/kg, o poder calorífico mínimo é de 11000 kJ/kg, e tendo um caudal de resíduos máximo admissível de 500kg/h. O caudal de resíduo horário admissível resulta do poder calorífico, ou seja, para um poder calorífico superior a 17400 kJ/kg o caudal é reduzido na relação do poder calorífico do projeto/ poder calorífico atual, para um poder calorífico inferior a 17400 kJ/kg o caudal de resíduos aumenta de forma correspondente até ao máximo de 500 kg/h.

Os resíduos são fornecidos em contentores de material sintético e uma pequena parte em sacos de material sintético. Para alimentação, os contentores são empilhados manualmente em um balde de alimentação, este é elevado para a abertura de alimentação por meio de um elevador de material e despejado para a câmara de alimentação. Por meio de um sistema de pesagem, o balde de alimentação é carregado com cerca de 42 kg material por carga, incluído o contentor. Deve ser carregados uma mistura de contentores pequenos e grandes para manter tão uniforme possível a fração de material sintético proveniente dos contentores, desta forma são processadas 10 cargas por hora.

Devido ao poder calorífico elevado no material plástico, incluindo material de embalagem/contentorização, e à sua fração relativamente elevada no material introduzido na incineração, o poder calorífico dos próprios resíduos hospitalares não influencia de forma significativa a ordem de grandeza do poder calorífico atual.

3.5.2 RESÍDUOS DE MATADOURO

Em relação aos RM o caudal de resíduos nominal é de 500 kg/h, o poder calorífico de projeto é de 2000 kJ/kg, o poder calorífico máximo de 6000 kJ/kg, o poder calorífico mínimo é de 600 kJ/kg e têm um caudal de resíduos máximo admissível de 550 kg/h.

As gorduras animais que emergem da câmara primária são recolhidas e injetadas na câmara primária durante a operação do queimador, em função da quantidade recolhida, através de um injetor de pulverização.

3.6 MODELO DE EXPLORAÇÃO

3.6.1 RESÍDUOS HOSPITALARES

A alimentação de resíduos é efetuada durante o máximo de 16 horas por dia, ou seja, por norma das 8:00 da manhã até às 24:00 da noite. Durante as restantes horas noturnas é efetuada a combustão final do material acumulado na câmara de combustão (burnout). Este modo de funcionamento pode, ser mantido durante 7 dias por semana, no mínimo 6 dias por semana.

A extração de cinzas da câmara é realizada 3 vezes por semana, dependendo do teor de cinzas dos resíduos.

3.6.2 RESÍDUOS MATADOURO

O período máximo de alimentação de resíduos é de 16 horas por dia, no restante período é efetuada a combustão do material acumulado na câmara de combustão.

A alimentação efetua-se durante 5,5 dias por semana, no domingo é feita a combustão final de material introduzido, na noite de domingo para segunda-feira são extraídas as cinzas e ao meio-dia da segunda-feira recomeça a alimentação de resíduos de matadouro.

Os resíduos de matadouro são fornecidos em contentores de 120 litros ou 240 litros, os quais são despejados para a caixa de alimentação por meio de um elevador de material.

A quantidade máxima admissível por contentor é de 90 kg. Posteriormente os contentores são lavados e reutilizados.

3.7 UTILIZAÇÃO DE CONSUMÍVEIS NO PROCESSO

Os recursos utilizados no processo respeitam aos consumíveis e ao número de operadores afetos em permanência ao processo. Por outro lado o processo gera recursos nomeadamente vapor saturado a 10 bar.

Os consumíveis do processo respeitam à energia necessária (combustível auxiliar e eletricidade), aos reagentes consumíveis (água, Ca(OH)_2 , CaO , ureia, carvão ativado) e ainda a materiais/componentes em resultado do desgaste. Alguns destes consumíveis são objeto de garantia de consumo máximo por parte do fabricante da instalação.

O caudal do combustível auxiliar (gasóleo) varia em função do poder calorífico atual dos resíduos em incineração, com intuito de garantir as temperaturas mínimas de combustão dos resíduos, mas também para proceder à manutenção da temperatura das câmaras de incineração durante a noite em que não há adição de resíduos, e ainda para proceder quer ao aquecimento quer ao arrefecimento da instalação. O valor do consumo máximo garantido foi fixado em 7200 kg/semana pelo construtor.

Outros valores garantidos, incluem o consumo específico de energia elétrica de 220kWh/t resíduos e de água de processo com o máximo de 1.0 m³/t resíduos.

Os equipamentos de controlo da emissão de gases ácidos nos efluentes gasosos fazem uso de cal CaO (95%) e hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , que não deverão exceder 40 kg/t e 15 kg/t resíduos, respetivamente.

A adição de ureia ao processo para o controlo de NO_x não se encontra suficientemente descrita no Manual de Operação ao nível da concentração da solução de trabalho.

De acordo com o Manual de Operação da instalação, o processo também deveria fazer uso de carvão ativado e CaO (95%), contudo nos dados disponibilizados para a análise não existe qualquer registo relacionado com a utilização de carvão ativado e CaO .

O caudal de vapor produzido pela instalação é inexplicavelmente ausente dos registos disponíveis do DCS.

3.8 DIFICULDADES OPERATÓRIAS

Durante as operações de incineração, eventualmente podem surgir problemas, de alguma forma resultantes dos transientes de operação. Os transientes de operação estão ligados por um lado ao facto da instalação ser alimentada por cargas e também pelo facto da recolha de escórias se realizar de forma descontínua. Estes transientes estão relacionados com as pequenas dimensões da instalação, mas não necessariamente por se encontrar subdimensionada, que só seriam ultrapassadas se fosse possível uma alimentação em contínuo.

Assim e no que respeita aos resíduos hospitalares, não é conhecida com precisão suficiente a natureza dos resíduos e portanto a composição elementar e o poder calorífico.

Os resíduos incinerados isto é, que resultam da combustão dos resíduos, com conteúdos elevados de metais alcalinos, podem fundir, dependendo da temperatura durante o processo de combustão, e originar vitrificados, impedindo a transferência de calor e movimentação das cinzas, bloqueando o êmbolo empurrador de escórias e obrigando à paragem do processo. A degradação do refratário e deformação das estruturas foram também problemas detetados na instalação.

A ocorrência de escorrências e acumulação de gorduras originadas pela incineração dos resíduos de matadouro, podem provocar sobrepressões, explosões, incêndios e interrupções na operação.

4 RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante esta investigação. A análise do processo de incineração e a avaliação de desempenho incidirá sobre um conjunto de dados de exploração e comparação com os resultados de modelização ou métricas definidas para o processo.

4.1 DADOS DE EXPLORAÇÃO - METADADOS

A instalação dispõe de um amplo conjunto de dispositivos de instrumentação e controlo que realizam a monitorização da instalação em tempo real e estão na base de ações de controlo e correção de eventuais disfunções operacionais.

Esta informação é produzida através de um amplo conjunto de dispositivos de medida que são monitorizados e registados em ficheiros específicos em ASCII, através de um sistema automático de aquisição de dados ligado ao dispositivo de controlo do sistema, geralmente identificados como DCS (Data Control System). Na realidade a informação assim disponibilizada pode ter sido já sujeita a um procedimento prévio de tratamento de dados que inclui o cálculo de médias, a aplicação de regras de validação e até procedimentos de conversão/correção. Esta situação verifica-se no caso da informação disponibilizada para a concentração de poluentes gasosos na chaminé. De facto, por exemplo, apesar do processo de medida apresentar valores em ppm e a frequência de medida ser de apenas alguns segundos, de facto os resultados disponíveis são valores médios de 120 segundos, expressos em massa, e ainda corrigidos para as condições normais (condições PTN, gases secos).

Para cada uma das linhas de incineração, os registos disponíveis da exploração apresentam a monitorização de 56 variáveis ao longo de todo o processo, desde a pesagem dos resíduos na alimentação até à medida na chaminé da concentração de gases descarregadas para a atmosfera. Na fase da alimentação é feito ainda um registo manual por um operador da quantidade de resíduos e do tipo de contentores/sacos presentes em cada carga.

A finalidade dos diferentes registos, para além do registo do histórico, tem a ver com a produção de relatórios relativos às emissões para a atmosfera ou seja a demonstração do cumprimento ou não das obrigações decorrentes da Licença Ambiental, mas também a melhoria da exploração e, especialmente, o controlo da exploração.

De facto, alguns dos registos estão relacionados especificamente com determinadas ações de controlo da instalação, como por exemplo:

- Temperatura vs adição de combustível auxiliar ou adição de água de arrefecimento;
- NOx vs adição de ureia;
- Teor de oxigénio vs ar secundário;
- Depressão vs aberturas de ar primário.

Refira-se ainda que foi possível aceder a um conjunto de registos adicionais, em paralelo com os registos do DCS, realizado por uma entidade externa acreditada para a realização de medidas em efluentes gasosos.

4.1.1 REGISTOS

A monitorização das diferentes variáveis de processo correspondem a outros tantos ficheiros ou arquivos, cujos nomes aparecem associados aos diferentes diagramas e quadros sinópticos que descrevem ou apresentam o sistema ou componentes do sistema.

O formato do conteúdo desses arquivos é relativamente simples, sendo característico dos sistemas de aquisição de dados, apresentando-se em caracteres ASCII, legível por qualquer programa simples do MSWindows (ex: Notepad) ou MSDOS (Ex: Edit ou outro), não sendo recomendável o uso do MSExcel.

A análise do conteúdo de cada um desses ficheiros mostra que cada linha de registo contém a data/hora/minuto/segundo e um valor que corresponde à variável medida. Os nomes dos ficheiros, bem como as variáveis registadas e as respetivas unidades vêm descritas na tabela E1 do Anexo E.

Tendo em conta a informação disponibilizada, cada ficheiro original reporta uma semana de registos, sendo que cada registo pode ser feito a intervalos de 10 segundos, pelo que pode apresentar assim vários milhares de registos.

A análise desta informação efetuou-se através da seleção das variáveis de interesse tendo em conta os objetivos deste trabalho, e através da utilização de aplicações quer de visualização quer de análise e tratamento de dados.

4.1.2 DADOS SELECIONADOS E JUSTIFICAÇÃO

Possuindo a informação relativa aos 56 pontos de monitorização, procedeu-se à seleção de dados que representasse os fenómenos principais, de forma a conseguir avaliar um processo ou mesmo os resultados comparando-os com as métricas estabelecidas ou com os resultados de aplicação de modelos.

De forma sucinta, foram selecionados os seguintes dados operacionais: a massa de resíduos em cada carga, a pressão e temperaturas nas câmaras de incineração, aberturas das válvulas de admissão de ar à câmara de incineração primária, consumo de combustível auxiliar nas câmaras de combustão primária e secundária, consumo de eletricidade, teor de oxigénio depois do depurador de calor, consumos de ureia, leite de cal e água de processo, emissões de CO, CO₂ e O₂.HCl, HF, SO₂, COT, partículas, NH₃, NOx, e o caudal de gases de saída na chaminé.

4.1.3 CONVERSÃO DE DADOS E ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Uma vez selecionados os arquivos de interesse e após uma análise mais pormenorizada dos registos, verificou-se que a importação direta da informação para folha Excel apresentava falhas com origem na consistência da formatação disponível, que obrigava a um procedimento trabalhoso e logo sujeito a falhas, tendo em conta o número de registos por ficheiro e o número de ficheiros em causa. Esta situação foi ultrapassada através da criação de um pacote de programas de conversão de formatação e cálculo, de seleção de registos e seleção de ficheiros que melhoraram e tornaram mais eficiente o processamento da informação. O referido pacote de programas incluía alguns em linguagem QUICKbasic e outros sob a forma de ficheiros de comandos, qualquer deles usando o sistema operativo MSDOS.

4.1.4 PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO DE DADOS

Para o processamento subsequente, a informação, foi organizada num ficheiro Excel, subdividido em folhas contendo cada qual os registos temporais para cada variável. A primeira folha inclui a lista das variáveis de processo trabalhadas, a cada uma das quais foi adicionada uma pequena descrição do que cada registo representa incluindo respetivas unidades. Alguns dos registos foram ainda sujeitos a processamento, dado que, em alguns casos, referiam-se a registos provenientes de contadores totalizadores (ex: gasóleo), e havia interesse em determinar valores instantâneos do caudal.

A primeira folha Excel supracitada foi ainda utilizada como alicerce para a construção de uma ferramenta de análise de dados, estando interligada a todas as outras folhas através de hiperligações, com vista à representação gráfica dos registos em ordem ao tempo, bem como ao cálculo de alguma estatísticas (valores médios, máximos e mínimos, frequências de ocorrência) para determinadas janelas de observação temporal, consideradas tendo em conta a homogeneidade do modelo de exploração (exemplos: durante a noite, com resíduos hospitalares, com resíduos de matadouro, ou outras circunstâncias).

4.2 MODELO TERMODINÂMICO

O modelo termodinâmico desenvolvido para este trabalho assenta na realização do balanço mássico e energético, a partir da informação disponível tendo em conta as condições de operação da instalação de incineração (temperaturas, combustível auxiliar, composição gasosa, etc.) e de outra que é assumida, nomeadamente a caracterização dos resíduos. A análise comparada dos registos de operação com os resultados do modelo assenta em valores médios de base diária de operação com características uniformes, quanto às características dos resíduos incinerados.

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS

A caracterização dos resíduos para efeitos de estudo da incineração inclui a a composição próxima (teor de humidade e cinzas), composição elementar (CHONS) e poder calorífico. Esta caracterização é indispensável para analisar e interpretar os resultados da exploração da instalação.

A documentação disponível é omissa em relação a este assunto, mas permite depreender que estes resíduos poderão apresentar quantidade significativa de plástico decorrente do tipo de contentores em que os resíduos são entregues à unidade de incineração.

Segundo uma análise efetuada durante um período de vários dias, relacionada com a composição dos RH, realizada na instalação pela entidade gestora, mostra que a fração de material sintético proveniente dos contentores que alocam os RH, situa-se numa média de 30 % do material total introduzido. Assim para o cálculo do balanço mássico e energético para dos RH, foi utilizada a fração de 70% RH e 30% polietileno.

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores da composição elementar e na Tabela 4.2, valores do teor de humidade e o PCI, para os RH os valores referentes à composição elementar estão representados na Tabela 4.3, os valores para o teor de humidade e o PCI são apresentados na Tabela 4.4. Sendo estes valores considerados para efeitos do ensaio do modelo termodinâmico de balanço mássico e de energia utilizado neste trabalho descrito acima.

Para os efeitos deste estudo considerou-se como aproximação a composição próxima e elementar dos resíduos hospitalares e de matadouro apresentados nas tabelas já referidas, sendo que os valores apresentados são arbitrários pois não resultam de nenhum estudo sistemático, mas resultam da ponderação da escassa informação disponível.

Tabela 4.1 – Composição elementar dos resíduos de matadouro (RM)

Composição elementar ponderal em base seca					
Carbono WCR (kg C/kg R bs)	Hidrogénio WHR (kg H/kg R bs)	Oxigénio WOR (kg O/kg R bs)	Azoto WNR (kg N/kg R bs)	Enxofre WSR (kg S/kg R bs)	Cinzas WZR (kg Z/kg R bs)
0,188	0,080	0,627	0,055	0,000	0,050

Tabela 4.2 – Teor de humidade e PCI dos resíduos de matadouro

Teor de humidade wWR (kg H ₂ O/kg R btq)	Poder calorífico inferior PCIR (MJ/kg R bs)
0,559	2,00

Tabela 4.3 – Composição elementar dos resíduos hospitalares (RH) e do polietileno de embalagem (PE)

Resíduo	Composição elementar ponderal em base seca					
	Carbono wCi (kg C/kg i bs)	Hidrogénio wHi (kg H/kg i bs)	Oxigénio wOi (kg O/kg i bs)	Azoto wNi (kg N/kg i bs)	Enxofre wSi (kg S/kg i bs)	Cinzas wZi (kg Z/kg i bs)
Hospitalares	0,590	0,070	0,308	0	0	0,031
Plástico PE	0,860	0,140	0	0	0	0

Tabela 4.4 – Teor de humidade e PCI dos resíduos hospitalares

Teor de humidade wwi (kg H ₂ O/kg i btq)	Poder calorífico inferior PCli (MJ/kg i bs)
0,114	13,00
0	43,00

4.2.2 *BALANÇOS DE MASSA E DE ENERGIA*

Para realização do balanço mássico e energético foi adaptada uma aplicação Excel desenvolvida no âmbito de trabalho anterior (Casian, 2013), que considera a combustão em simultâneo de resíduos e combustível auxiliar. Para o efeito considera o caudal e a composição elementar e próxima dos resíduos e do combustível auxiliar, a partir do que permite estimar a composição, o caudal dos produtos de incineração, bem como a quantidade de energia desenvolvida, conforme descrito na secção 3.5 deste trabalho, simulando um excesso de ar que tornasse os resultados da simulação tão compatíveis quanto possível com os resultados observados, nomeadamente com a composição das emissões gasosas, procurando deste modo, determinar uma aproximação aos valores observados e propor explicações para eventuais desvios.

4.2.3 *UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS AUXILIARES*

Com a informação estudada relativamente à exploração analisamos qual o desempenho da instalação. Em função da natureza e do caudal de resíduos incinerados, a avaliação do desempenho é efetuada através da verificação, de um conjunto de métricas tais como:

- Consumos de combustível, água, eletricidade hidróxido de cálcio e ureia;
- Condições de operação: temperaturas de combustão, pressão, tempo de residência;
- Caudal de gases, emissões de partículas; carbono orgânico total (COT), ácido clorídrico (HCl), dióxido de enxofre (SO₂), ácido fluorídrico (HF), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH₃).

Os indicadores supramencionados fazem uma avaliação quantitativa da eficiência ou eficácia de um elemento do serviço ou a operação. Para verificar as condições da exploração é efetuada a comparação dos valores obtidos através dos indicadores com os valores de garantia do protocolo de exploração e legislados.

Com o objetivo de analisar a consistência dos dados obtidos, realizou-se um exercício de balanço mássico e energético sobre os dados, verificando deste modo se os valores obtidos são razoáveis.

4.3 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

O procedimento de análise da informação de exploração foi efetuada considerando valores médios diários da exploração, mas também considerando extratos da informação sob a forma de séries temporais, tendo em conta em qualquer dos casos, a natureza dos resíduos (RH vs RM) na presença ou não de combustível auxiliar ou apenas a utilização de combustível auxiliar (durante a noite).

O primeiro procedimento visa fundamentalmente confrontar as diferentes variáveis de exploração com o balanço mássico e energético dado pelo modelo termodinâmico desenvolvido e depois adaptado para este trabalho, bem como calcular as métricas.

A análise das séries temporais é realizada com o objetivo de determinar o modelo de resposta do sistema às alterações processuais que decorrem da incineração dos resíduos e assim perceber as razões que poderão estar na base de desvios aos valores definidos para a exploração e para as emissões.

4.3.1 RESULTADOS MÉDIOS

Foram calculados os valores médios considerando três situações operatórias distintas, (a) período noturno quando é adicionado apenas combustível auxiliar, (b) período diurno quando ocorre a incineração de RH e (c) durante o período diurno quando ocorre a incineração de RM.

Para cada uma das situações e uma vez delimitadas, procedeu-se ao cálculo das médias das variáveis observadas, que foram obtidas através dos registos da instalação. Estes valores médios (caudal de resíduos, caudal de combustível auxiliar, caudal de água de processo, etc.) serviram de suporte ao exercício de balanço mássico tendo em vista a verificação dos valores observados em comparação com os valores produzidos pelo modelo de balanço mássico.

Deve frisar-se que o exercício realizado com o modelo termodinâmico para cada uma das situações tinha por objetivo tentar que este se adequasse aos resultados das médias das emissões gasosas observadas de $\text{CO}_2/\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ /caudal de efluente, para o mesmo caudal médio de resíduos e combustível auxiliar, sendo que o teor de água e o caudal de efluente eram muito mais difíceis de harmonizar. A principal variável do modelo termodinâmico a ensaiar era assim o excesso de ar, embora em algumas situações também tivesse sido simulada uma composição de resíduo diferente, em particular no caso de RH.

Os resultados da análise realizada foram estruturados numa tabela juntamente com os valores resultantes dos balanços mássicos e energéticos, sendo assim possível efetuar a análise comparativa de valores.

4.3.2 *RESULTADOS INSTANTÂNEOS*

Dado que o registo de dados do DCS ocorre a cada 10 segundos para a grande maioria das variáveis, tal não significa que essa informação corresponda à realidade instantânea da monitorização, pois existem situações em que os dispositivos de medida apenas atualizam a resposta em períodos mais dilatados (exemplo: a medida de CO é atualizada a cada 120 segundos).

Com a informação selecionada realizaram-se gráficos das diferentes variáveis em função do tempo e com o objetivo particular de avaliar o efeito das cargas introduzidas e, eventualmente, a quantidade de polietileno associada aos contentores ou sacos, com a finalidade de estabelecer um modelo relacional que permita estabelecer modelos dinâmicos estímulo/resposta que possam utilizados para melhorar a operação.

As janelas temporais foram escolhidas arbitrariamente e respeitam a um período de uma hora, caracterizados pela homogeneidade, correspondendo assim a séries temporais onde é possível visualizar o modelo de resposta dinâmica do processo em relação às diferentes ações: adição de cargas, emissões, ações de controlo, etc. Esta informação pode ser visualizada nos Anexos F, G e H para distintas condições de operação da instalação. Nos Anexos F, Anexo G e Anexo H estão apresentados exemplos de resultados instantâneos para uma janela de observação de uma hora para três períodos diferentes:

- Período noturno em que não são incinerados resíduos sendo apenas adicionado combustível auxiliar para manutenção das condições de incineração e “burnout” dos resíduos incinerados;
- Período diurno onde são incinerados RH na presença de combustível auxiliar;
- Período diurno onde são incinerados RM na presença de combustível auxiliar.

Para cada período a análise foi efetuada para diferentes conjuntos de variáveis em ordem ao tempo, tais como: cargas de resíduos vs emissões de CO/O₂/CO₂/Caudal de emissão de gases e consumo de combustível auxiliar; cargas/polietileno associado vs caudal de gases de emissão de gases/depressão na câmara primária/entradas de ar; cargas/polietileno associado vs emissões de NO_x/caudal de injeção de ureia/caudal de

água utilizado para a injeção de ureia e o último cenário é cargas/polietileno associado vs emissões de HCl/ caudal de injeção de leite de cal.

4.4 ANÁLISE GERAL DA EXPLORAÇÃO

Os resultados da exploração estão registados pelo DCS, permitindo analisar o modelo operacional instantâneo pois os registos disponíveis, por regra, são bastante detalhados.

Em qualquer caso alguns dos registos disponíveis são valores médios considerados validados para determinados períodos (tal é o caso da emissão de CO, que é validado a cada 120 segundos), embora se disponha de registos muito mais detalhados (10 em 10 segundos).

A análise dos registos instantâneos podem permitir ao sistema de operação tomar ações corretivas.

A análise da exploração é ainda efetuada com base em médias temporais determinadas a partir dos registos instantâneos disponíveis, tais como os que permitem verificar o cumprimento da legislação e a verificação de valores de projeto (valores garantias).

4.4.1 REGISTOS INSTANTÂNEOS

A análise dos registos instantâneos do DCS permite perceber o regime de controlo da instalação. Nos Anexo F, Anexo G e Anexo H estão apresentados excertos arbitrários para períodos de 1 hora de registos de exploração da instalação.

De facto a adição de cargas de resíduos é um processo descontínuo, ao contrário do combustível auxiliar que é doseado em contínuo, traduz-se em variações das diferentes variáveis operatórias, em maior ou menor extensão, que são objeto de análise nas subsecções seguintes.

4.4.1.1 PERÍODO NOTURNO

A partir dos gráficos da análise instantânea referentes ao período noturno com duração de 1 hora, em que não ocorre incineração de resíduos, sendo apenas adicionado combustível auxiliar, apresentado no Anexo F, verifica-se que, o caudal de emissão de gases é constante cerca de 4000 Nm³/h, o consumo de gasóleo na câmara primária varia entre 0 a 0.08 L/h, e na câmara secundária o consumo é mais constante com mínimo de 0.04 L/h e no máximo 0.05 L/h. Relativamente às emissões de gases verifica-se que

variam pouco, observando-se que a concentração de CO ronda entre os 0% e 4%, a concentração de O₂ está entre 11 % e 15% e para o CO₂ as concentrações tomam valores entre 5% e 10 %.

Em relação à câmara de combustão primária verifica-se que a depressão na câmara primária apresenta valores entre -0.60 e -1.26 mbar, nunca atingindo valores positivos. A percentagem de abertura das válvulas de entrada de ar primário são fixadas em 30% para a válvula do ar de fundo (“por baixo do fogo”), 10% de abertura para o registo referente à adição de ar lateral ao nível da chama e 2% de abertura para o registo do ar primário adicionado diretamente na câmara de combustão de escórias.

No que diz respeito às condições de controlo de emissões verifica-se que o caudal de injeção de ureia é constante de 2 L/h diretamente relacionado com a emissão de NO_x, que varia entre 56 mgNO_x/Nm³ e 89 mgNO_x/Nm³ e um caudal que varia de 6.0 L/h a 18.9 L/h de injeção de leite de cal para uma emissão de HCl mgHCl/Nm³ de 1.5 a 2.6 mgHCl/Nm³.

4.4.1.2 PERÍODO DIURNO COM INCINERAÇÃO DE RH

No que se refere ao período diurno com duração de uma hora, em que ocorre a incineração de RH, no Anexo G encontra-se a representação da informação acerca das cargas/polietileno associado vs emissões de CO/O₂/CO₂/caudal de emissão de gases/consumo de combustível auxiliar, as cargas são efetuadas com uma periodicidade de 10 em 10 minutos, em média com 40 kg cada e com polietileno de embalagem estimado em 11 kg por cada carga, com o caudal de emissão de gases a variar de 4500 até 7800 Nm³/h, maior em comparação com o período noturno devido a adição de cargas o que também contribui para não ser adicionado combustível auxiliar na câmara de combustão primária, na câmara secundária adição varia entre 0 e 0.04 L/h.

No plano das emissões é de realçar que sempre que ocorre um aumento da concentração de CO, que varia de 0 a 210 mgCO/Nm³, de acordo com os registos do DCS, ocorre uma diminuição das concentrações no efluente gasoso quer de O₂, assumindo valores entre 7% e 15%, quer de CO₂, que varia entre o 5% e 10%. Esta ocorrência também está associada a uma diminuição no caudal de emissão de gases.

Verifica-se que no caso da válvula de entrada de ar na câmara de combustão de escórias está fixada nos 2%, nas outras duas entradas de ar ao contrário do período noturno variam, para a percentagem de abertura da válvula de entrada de ar primário oscila entre os valores 3% a 20 % para a válvula de ar fundo (“por baixo do fogo”) de 2% a 11%. A

depressão aumenta em relação ao período noturno durante a adição de resíduos variando entre -1 e -3 mbar.

No que diz respeito às emissões NOx/consumo de ureia/água utilizada na injeção de ureia, verifica-se um caudal de injeção de ureia de 2.6 L/h mas atinge valores de 0 em alguns momentos (provavelmente causado por um problema técnico) e está diretamente relacionada com o aumento das quantidades de NOx no efluente gasoso atingindo valores de 253 mgNOx/Nm³.

Para as emissões de HCl/ consumo de leite de cal constata-se um caudal de injeção de leite de cal que toma valores entre os 22 L/h e 44 L/h aumentando e diminuindo em harmonia com a emissão de HCl, oscilando entre 2.6 e 14.4 mgHCl/Nm³.

4.4.1.3 PERÍODO DIURNO COM INCINERAÇÃO DE RM

Em relação ao período diurno com duração de uma hora em que ocorre a incineração de RM, no Anexo H encontra-se a representação da informação, através da análise dos gráficos, verifica-se que são adicionadas 7 cargas no período de 1 hora, em média com 80 kg cada a carga, com polietileno de embalagem estimado em 1.5 kg por cada carga e o caudal de emissão de gases a variar de 6000 até aos 7000 Nm³/h.

Na adição de combustível auxiliar verifica-se um caudal entre os 0 L/h e 0.13 L/h na câmara de combustão primária mais elevado do que no caso dos RH devido ao maior teor de humidade dos resíduos, na câmara secundária não é adicionado combustível auxiliar ao, contrário que acontece no caso dos RH, dado que a temperatura mínima estipulada na legislação é inferior em relação aos RH.

No plano das emissões é de realçar que sempre que ocorre um aumento da concentração de CO, que varia de 0% a 55% mgCO/Nm³, simultaneamente no sentido inverso ocorre uma diminuição nas concentrações de O₂, tendo emissões na gama entre os 9% e 16%, e de CO₂ que varia entre os 5% e 15 %, no efluente gasoso. Esta ocorrência também está associada a uma diminuição no caudal de emissão de gases. É realçar que o valor das emissões aumenta ligeiramente em relação aos RH.

Para as entradas de ar na câmara primária, verifica-se no caso da percentagem de abertura das válvulas de entrada de ar primário fixadas em 30% para a válvula de fundo ("por baixo do fogo"), 11% para a lateral e varia entre 2% e 3% para a da câmara de combustão de escórias. Nota-se assim uma maior necessidade de ar primário para o caso da incineração de RM. A depressão varia entre -1 e -2 mbar.

No que diz respeito às emissões NOx/consumo de ureia/água utilizada na injeção de ureia, verifica-se um caudal constante de injeção de ureia de 2.6 L/h, em relação ao NOx no efluente gasoso atingindo valores de 253 mgNOx/Nm³. Para o cenário de cargas vs emissões de HCl/ consumo de leite de cal constata-se um caudal de injeção de leite de cal que toma valores entre os 15 L/h e 30 L/h aumentando e diminuindo em harmonia com a emissão de HCl que por sua vez oscila entre 0.9 mg HCl/Nm³ e 3.8 mg HCl/Nm³. As emissões de NOx e HCl no período de incineração de RM atingem valores menores em relação ao período em que ocorre incineração de RH.

4.5 RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO (MÉDIAS DE PERÍODOS)

As subsecções seguintes apresentam o exercício de cálculo das condições médias de exploração para cada uma das linhas de incineração, cada uma das quais referentes a uma semana. Para o efeito foram definidos períodos de análise tendo em conta a presença ou ausência de adição de resíduos e a natureza dos resíduos, já que cada um destes três casos tem especificidades operatórias próprias.

Através da análise dos períodos podemos constatar que para os períodos de incineração de RH as médias de cargas por hora inseridas, são menores em relação aos períodos em que é feito a incineração de RM. No período noturno é o período em que ocorre maior consumo de combustível auxiliar, seguido do período que diz respeito aos RM, em que também é o período que necessita mais excesso de ar. No período de funcionamento com RH é onde os consumos de combustível auxiliar são menores. Esta situação é a mais corrente, tendo em conta que o poder calorífico dos RH é geralmente superior aos RM.

No que concerne ao uso recursos no tratamento do efluente gasoso não há grande diferença para os períodos em que a instalação está a incinerar resíduos, notando-se grande diferença para o período noturno em que não ocorre incineração de resíduos, havendo consumo de ureia e leite de cal mas em menores quantidades.

Com os resultados do cálculo de valores médios verifica-se que para o NOx, HCl e CO respeitam os valores tabelados na legislação. No caso do CO foi o poluente em que está mais próximo do limite estabelecido.

Foi difícil harmonizar os dados observados com os calculados, mais propriamente as concentrações dos gases e o caudal de emissão de gases, sendo que para alguns períodos, para aproximar as concentrações calculadas em relação aos valores observadas, era necessário aumentar o excesso de ar o que ocasionava o aumento do

caudal de emissão de gases, ultrapassando o valor observado. A harmonização destas situações requer uso de técnicas que não foram consideradas neste trabalho.

Constata-se que os caudais de RM previstos pelo modelo são significativamente menores que os valores observados, tal está relacionado com o caudal de ar considerado necessário, que por sua vez depende da composição molar dos resíduos (pobres em hidrogénio ao contrário dos RH). Lembra-se que o ajuste do excesso de ar teve em conta o teor de O_2 e CO_2 . O acerto da energia disponível foi efetuado através da simulação do PCI dos resíduos, evidencia-se a necessidade de corrigir por cima para o caso dos RH (PCI cerca de 28 MJ/kg R bs) e o mesmo acontece para os RM (PCI cerca de 8 MJ/kg R bs).

Tendo em conta as condições base consideradas para o modelo termodinâmico (PCI_R , Temperatura final, excesso de ar, energia dissipada (5% da energia dos reagentes) e o caudal de combustível auxiliar considerado) verifica-se que quando a energia disponível no incinerador “negativa”, não seria possível atingir a referida temperatura final.

Pode assim concluir-se que a situação está relacionado com:

- a) O excesso de ar assumido (para harmonizar as concentrações finais dos gases no efluente gasoso).
- b) As incertezas relacionadas com os valores assumidos no modelo (PCI_R , composição dos resíduos e perdas de calor).
- c) As incertezas nas medidas dos valores relativo à composição do efluente gasoso.

A incineração de RH evidencia a situação de subcarga térmica no sistema quando se compara com a produção de vapor (acima de 2.8 ton/h).

O comportamento de algumas das variáveis será mais detalhado durante a análise das métricas operacionais e ambientais.

4.5.1 LINHA 32

Para o caso da Linha 32, a Tabela 4.5 indica os períodos de análise diária considerados, referindo o início/fim do período e adição de cargas.

Tabela 4.5 – Períodos de análise diária definidos para a L32

Período	Intervalo de tempo (horas)		Intervalo de tempo (dias)		Duração (horas)		
	Início	Fim	Início	Fim		Noite (s/carga)	Dia (c/carga)
A	12:00:01 AM	9:00:01 AM	1,0007	1,3757	9,0	X	
B	9:26:59 AM	23:31:07 PM	1,395883	1,980197	14,0		X
C	12:00:00 AM	8:00:00 AM	2	2,333333	8,0	X	
D	8:30:54 AM	11:33:02 PM	2,356755	2,981346	15,0		X
F	12:00:00 AM	8:00:00 AM	3	3,3333	8,0	X	
G	08:52:41AM	1:57:31 PM	3,37141	3,582736	5,1		X
H	2:22:57 PM	11:32:16 PM	3,594399	3,981323	9,3		X
I	12:00:00 AM	08:00:00AM	4	4,3333	8,0	X	
J	9:35:34 AM	11:31:30PM	4,400935	4,981299	14,0		X
K	12:00:00 AM	8:00:00 AM	5	5,3333	8,0	X	
L	8:41:02 AM	23:30:19PM	5,361901	5,980077	14,8		X

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores resultantes do cálculo do balanço mássico, balanço energético e os valores observados a partir das variáveis monitorizadas.

Tabela 4.6 - Resultados observados vs resultados do exercício de balanço mássicos referentes à operação da linha L32

P	TR	Valores médios observados								Valores calculados										
		Cargas (kg/h)	Comb. aux (kg/h)	CO ₂ (%) bs	O ₂ (%) bs	O ₂ /AP (%) bh	H ₂ O (%) bs	Q gases (Nm ³ /h)	T C2° (°C)	Z (%)	CO ₂ (%) bs	O ₂ (%) bs	H ₂ O (%) bs	Q gases (Nm ³ /h)	Pot (MW _{th}) R	Pot (MW _{th}) Incin (R+CA)	T Final (°C)	Alt PCI (MJ/kg R bs) l	Pot (MW _t) h) Permut	PV (ton/h)
A			136,4	7	10,2	6,4	10,3	3236	1017	107	7,1	11,2	9,1	3355		0.08	1100		1.23	1.72
B	RH	396	43,4	7,5	11,8	8	19,5	6292	1116	135	7,4	11,6	9,2	8110	-0.63	-0.55	1100	28.00	2.75	3.8
C			107,2	7	12,5	8,8	17,1	4340	1113	130	6,5	12,2	8,4	2936		-0.03	1100		0.95	1.3
D	RH	374	23,0	7,3	11,7	7,8	20,6	6435	1125	135	7,2	11,9	8,9	7117	-0.09	-0.53	1100	28.00	2.4	3.4
F			114,4	7	12,8	8,9	16,8	4261	1111	135	6,3	12,4	8,3	3200		-0.06	1100		1.0	1.4
G	RH	418	71,7	7,3	12,2	8,4	20,2	6365	1112	145	7,0	12,1	8,9	9359	-0.22	-0.63	1100	28.00	3.1	4.4
H	RM	462	60,5	7,4	10,9	6,4	20,8	6374	1160	250	7,1	12,1	22	3049	-0.67	-0.39	900	8.00	0.68	2.6
I			98,4	6,9	14,4	11,2	17,1	4369	998	135	6,2	12,4	8,4	2752		-0.05	1100		0.86	1.21
J	RM	483	72,6	7,5	12,3	7	22,6	5749	1037	250	7,4	12,0	22	3289	-0.70	-0.40	900	8.00	0.81	1.3
K			108,9	7	12,6	8,9	16	4035	1004	125	6,6	12	8,5	2920		0	1100		0.97	1.4
L	RH	320	45,5	7,5	12,1	7,89	20,5	6611	1116	145	7,3	11,8	9	6697	-0.17	-0.52	1100	28.00	2.3	3.2
P- Período, TR- tipo de resíduos AP- Após o permutador, C2°- Câmara de combustão secundária, Z- Excesso de ar, R- Resíduo, CA- Combustível auxiliary, Ref- Referida, Pot- Potência, Incin- Incinerador, Alt- Alteração Permut- Permutador de calor e PV- Produção de vapor																				

A Tabela 4.7 mostra o uso de recursos e as emissões relacionadas.

Tabela 4.7 - Uso de recursos da linha 32

Período	Uso de recursos (L/h)						Emissões (Nm ³ /h)		
	Água (a)	Água (b)	Água (c)	Água total	Ureia	Leite de cal	HCl	NOx	CO
A	0	0,3	94,0	94,3	0,009	6.0	1,9	74,5	0,6
B	0	83.0	5,0	88.0	2,48	30.0	4,5	125,4	17,7
C	0	121,9	2,5	124,4	1,89	15.0	2,3	64,6	2,2
D	0	119,6	15,4	135.0	2,21	32.0	4,9	120,6	11,7
F	0	118,4	23,3	141,7	1,27	11.0	2,4	64,3	1,8
G	0	125,8	3,7	129,6	1,21	31.0	3,5	114,3	11,8
H	0	198.0	3,7	201,7	5,28	32.0	2,3	140,6	1,3
I	0	48,5	2,1	50,6	0,48	14.0	0,4	122,5	3,0
J	0	11,7	42,1	53,8	3,19	21.0	1,4	136.6	4.0
K	0	39,4	88,6	128,0	2,02	11.0	0,2	145.0	4,5
L	0	123,4	96,4	219,8	1,16	26.0	5,5	145,9	18,9
Caudal de água (a) arrefecimento da camara primária; (b) injeção de ureia; (c)-arrefecimento depurador de gases									

4.5.2 LINHA 31

Na Tabela 4.8 são indicados os períodos de análise diária, referindo o início/fim do período e adição de cargas.

Tabela 4.8 – Períodos de análise definidos para a linha 31

	Intervalo de tempo (horas)		Intervalo de tempo (dias)			Período	
Período	Início	Fim	Início	Fim	Duração (horas)	Noite (s/carga)	Dia (c/carga)
M	12:00:00 AM	9:00:00 AM	1,0000	1,3750	9.0	X	
N	9:14:08 AM	6:17:16 PM	1,3841	1,76199	9,1		X
O	5:03:00 AM	08:03:00	2,2104	2,3354	3.0	X	
P	8:35:57 AM	11:30:58 PM	2,3583	2,97984	15,0		X
Q	12:00:00 AM	8:00:00 AM	3	3,3333	8.0	X	
R	08:50:14AM	1:53:12 PM	3,36822	3,57861	5,1		X
S	2:21:06 PM	11:32:22 PM	3,59799	3,98081	9,2		X
T	12:00:00 AM	08:00:00AM	4	4,3333	8.0	X	
U	8:54:41 AM	11:24:07PM	4,37131	4,97508	14,5		X
V	12:00:00 AM	8:00:00 AM	5	5,3333	8.0	X	
W	9:41:50 AM	23:27:52PM	5,40405	5,97769	13,8		X

Na Tabela 4.9 são apresentados os valores médios observados durante a exploração e os valores resultantes do cálculo do balanço mássico e do balanço de energia.

Tabela 4.9 – Resultados observados vs resultados do exercício de balanço mássico referentes à operação da linha 31

P	TR	Valores médios observados								Valores calculados										
		Cargas (kg/h)	Comb. aux (kg/h)	CO ₂ (%) bs	O ₂ (%) bs	O ₂ /AP (%) bh	H ₂ O (%) bs	Q gases (Nm ³ /h)	T C ₂ ^o (°C)	Z (%)	CO ₂ (%) bs	O ₂ (%) bs	H ₂ O (%) bs	Q gases (Nm ³ /h)	Pot (MW _{th}) R	Pot (MW _{th}) Incin (R+CA)	T Final (°C)	Alt PCI (MJ/kg R bs) I	Pot (MW _t) h) Permut	PV (ton/h)
M			158,0	6,7	11,6	8,8	9,5	3688	1039	105	7,2	11,2	9,1	3870		0,1		1100	1,2	2,0
N	RH	422	54,9	7,3	11,1	7,7	16,1	5625	1132	140	7,4	11,6	9,2	7823	-0,73	-0,58	28,00	1100	3,0	4,2
O			126,0	7,2	13,1	9,7	13,9	3368	1104	130	6,5	12,2	8,4	3451		-0,04		1100	1,1	1,57
P	RH	406	15,0	7,2	11	7,4	19,5	5461	1134	110	7,9	11,2	9,5	6919	-0,35	-0,31	26,00	1100	2,4	3,4
Q			124,0	7,2	13,1	9,2	20,2	4450	1109	120	6,7	11,8	8,7	3253		0,03		1100	1,1	1,56
R	RH	416	20,7	7,4	11,1	6,8	20,1	5600	1135	120	7,6	11,6	9,2	7507	-0,48	-0,42	26,00	1100	2,5	3,5
S	RM	498	82,2	7,4	12,2	7,3	23,7	5235	1109	230	7,5	11,6	21,0	3514	-0,70	-0,32	7,00	900	0,88	1,2
T			128,9	7,2	13,3	9,35	20,9	4793	1078	140	7,0	11,4	9,0	3232		0,09		1100	1,78	1,64
U	RM	454	50,0	7,5	11,7	7,2	23,2	4744	1060	200	7,6	11,6	24,0	2587	-0,60	-0,37	8,00	900	0,61	0,86
V			147,4	7	12,6	8,9	18,6	4865	1100	135	6,2	12,4	8,4	4123		0,08		1100	1,3	1,8
W	RH	401	30,2	7,3	12	7,9	21	5570	1122	130	7,3	11,8	9,0	7743	-0,58	-0,49	28,00	1100	2,7	3,8
P- Período, TR- tipo de resíduos AP- Após o permutador, C ₂ ^o - Câmara de combustão secundária, Z- Excesso de ar, R- Resíduo, CA- Combustível auxiliary, Ref- Referida, Pot- Potência, Incin- Incinerador, Alt- Alteração Permut- Permutador de calor e PV- Produção de vapor																				

Na Tabela 4.10 mostram o uso de recursos e as emissões relacionadas da linha

Tabela 4.10 - Uso de recursos da linha 31

Período	Uso de recursos (L/h)						Emissões (Nm ³ /h)		
	Água (a)	Água (b)	Água (c)	Água total	Ureia	Leite de cal	HCl	NOx	CO
M	0	0,1	66,6	66,7	0,02	4.0	9,2	124,6	0,005
N	5,2	35,0	3,1	43,3	0,39	23.0	6,7	140,7	13,4
O	0	0,1	8,7	8,8	0,02	11.0	2,1	152,5	0,02
P	50,7	11,8	17,7	80,1	2,20	25.0	3,3	128,5	20,5
Q	11,6	174,7	12,0	198,3	1,43	16.0	2,5	76,8	1,3
R	68,7	124,5	33,9	227,1	1,42	25.0	3,7	141,5	23,5
S	2,2	166,7	28,4	197,3	3,03	19.0	2,1	123,6	6,3
T	0	162,1	44,4	206,4	1,59	17.0	0,8	107,6	3,5
U	0	158,6	23,8	182,9	3,26	18.0	1.0	135,5	13,9
V	0	164,0	175,3	339,3	1,15	15.0	1,3	102,4	1,3
W	0	159,4	23,0	182,4	1,46	26.0	5,6	119,7	12,6
Caudal de água (a)- arrefecimento da camara primária; (b)-injeção de ureia; (c)- arrefecimento depurador de gases									

4.5.3 UTILIZAÇÃO DIÁRIA DE ELETRICIDADE RH/RM

Na Figura 4.1 é apresentado o consumo de eletricidade ao longo da semana, para a linha 32, sendo que não há informação disponível para a linha 31. Na Tabela 4.11 é apresentado o consumo diário e semanal de eletricidade. A informação acerca do uso da eletricidade só está disponível para a linha 32, não foi fornecida a informação acerca da linha 31.

Através da Figura 4.1 pode-se verificar que o consumo de eletricidade no período noturno, quando não ocorre incineração de resíduos, varia entre 20 kWh e 40 kWh. Notando-se um aumento significativo do consumo de eletricidade, quando a instalação está a incinerar resíduos, passando a ter um consumo que varia entre 50 kWh e 80 kWh.

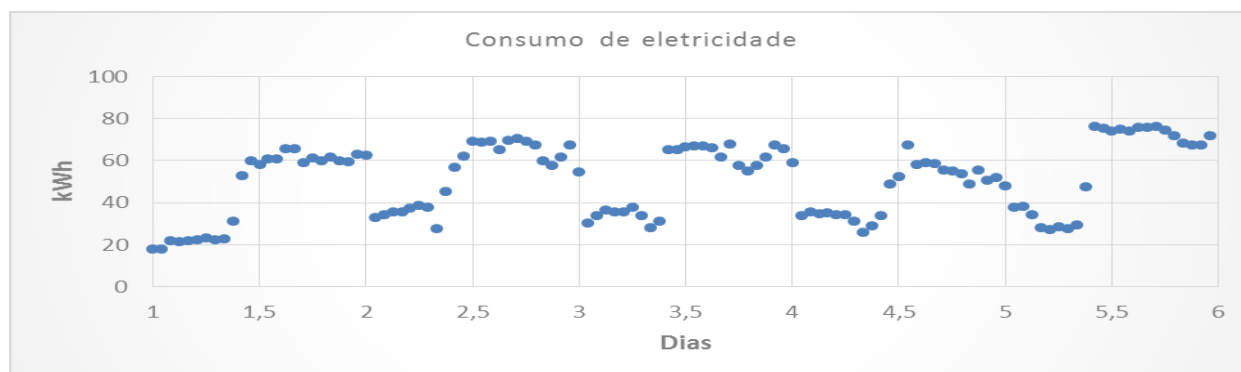


Figura 4.1 – Consumo de eletricidade durante a semana (linha 32)

Tabela 4.11 – Consumo de eletricidade da linha 32

Consumo de eletricidade kWh		
Dia	Diário	Semanal
1	1074	6088
2	1303,8	
3	1250,9	
4	1104,7	
5	1372,8	

4.5.4 CONSUMO MÉDIO DE GASÓLEO/RH/RM

Nas Figura 4.2 e Figura 4.3 está representado o consumo instantâneo de combustível auxiliar ao longo da semana para a linha 32 e linha 31 respetivamente. É de salientar que para a linha 31, no dia 1, não existiu um registo contínuo do consumo de combustível auxiliar instantâneo, só existindo registo para o consumo total nesse dia, motivo pelo qual não está representado na Figura 4.3.

Após a análise das figura é possível verificar que para os períodos de incineração de resíduos de matadouro o caudal instantânea do combustível auxiliar é maior, também é possível constatar que é no período noturno em que não são incinerados resíduos que há maior consumo de combustível auxiliar.

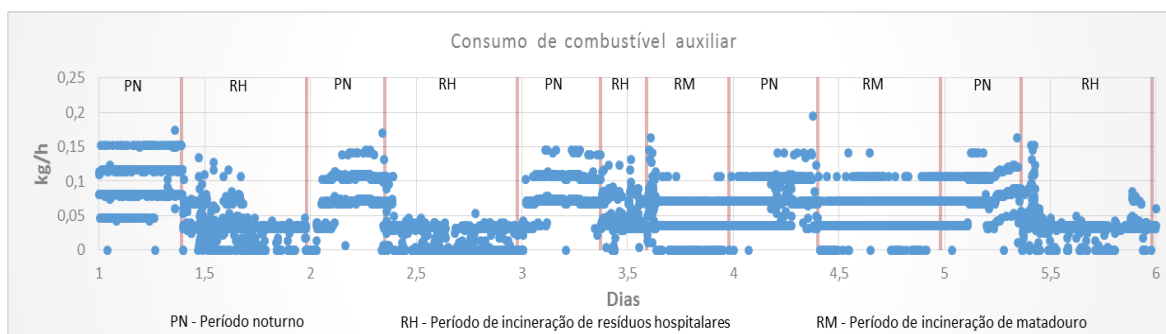


Figura 4.2 – Consumo de combustível auxiliar (linha 32)

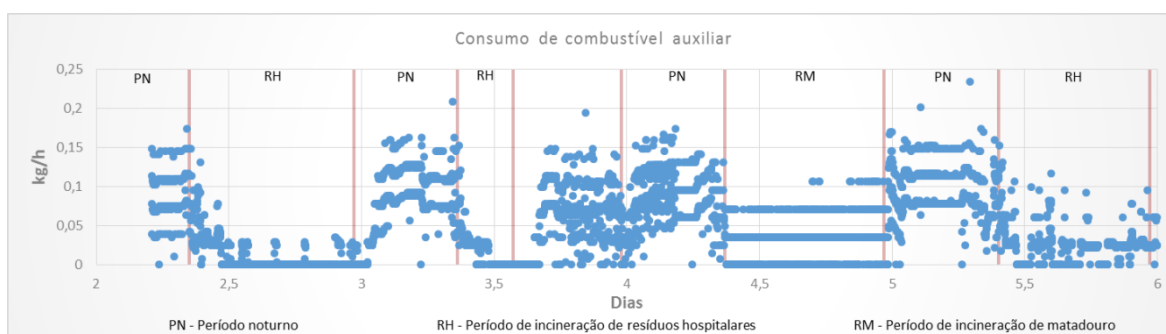


Figura 4.3 – Consumo de combustível auxiliar (linha 31)

4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO

As condições de exploração da instalação decorrem do tipo de resíduos em incineração, das cargas horárias, da temperatura de incineração, da utilização de recursos auxiliares (combustível, água e reagentes) e das necessidades de eletricidade para acionamento da instalação. Às condições de exploração estão associados custos operatórios devido ao uso dos referidos recursos e custos de manutenção associados ao desgaste da instalação e custos salariais mas também proveitos relacionados com o vapor produzido.

4.6.1 CARGAS DE RESÍDUOS

Com base no caudal médio horário de cargas inseridas no sistema para os diferentes períodos, apresentado na Tabela 4.6 e na Tabela 4.9 para a linha 32 e linha 31 respetivamente, verifica-se que em nenhum período ultrapassa o caudal máximo fixado no projeto que é de 420 kg/h para RH e de 550 kg/h para RM.

4.6.2 TEMPERATURAS DE INCINERAÇÃO

A verificação das condições de temperatura incidiu sobre o período de duas semanas relativamente às linhas 32 e 31. Nas Figura 4.4 e Figura 4.5 pode verificar-se que a temperatura ao longo dos dias, quer durante os períodos de incineração de resíduos quer durante a noite (sem resíduos) a temperatura foi sempre de cerca de 1100°C para RH, mantendo-se sempre acima de 850°C no caso de RM, verificando-se o cumprimento da legislação.

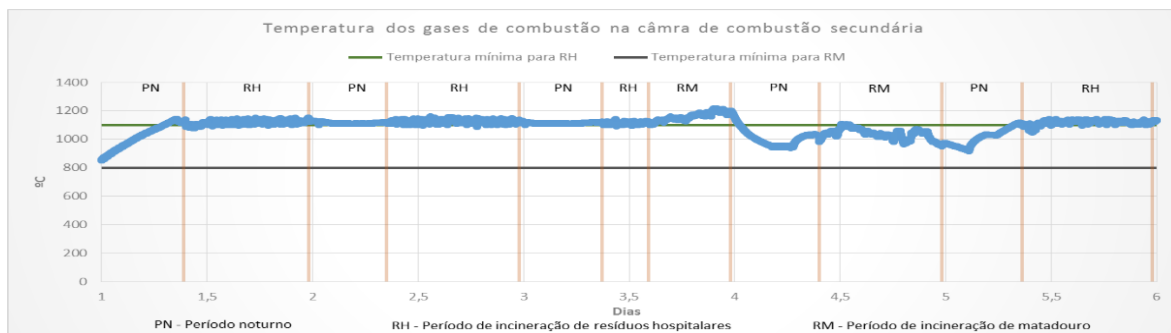


Figura 4.4 – Temperatura da câmara de incineração secundária (L32)

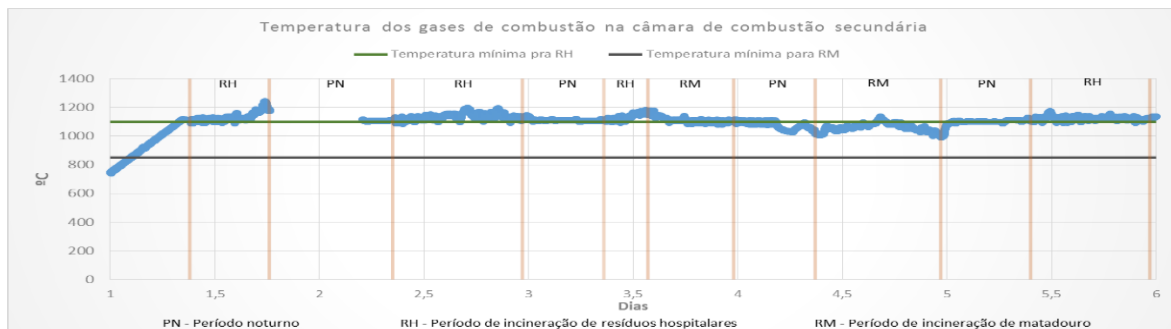


Figura 4.5 – Temperatura da câmara de incineração secundária (L31)

4.6.3 TEMPO DE RESIDÊNCIA DOS GASES NA CÂMARA DE COMBUSTÃO SECUNDÁRIA

Ao abrigo do DL 85/2005, como já referido anteriormente os gases tem que permanecer pelo menos 2 segundos na câmara de combustão secundária. Para efetuar o cálculo do tempo de residência dos gases foi utilizado a equação seguinte

$$\frac{V_{\text{câmara secundária}}}{G_{va}} \geq 2 \text{ segundos} \quad (\text{Eq 2.34})$$

Em que;

$$G_{va} = G_{vN} \frac{P_N}{P_a} \frac{T_a}{T_N} \quad (\text{Eq 2.35})$$

Dado que a capacidade da câmara de incineração secundária é de 17.5m³, pode concluir-se que só no caso da incineração de RH, em que a temperatura deve atingir 1100°C, quando o caudal de gases é superior a 5156 Nm³/h ocorrem condições para que o tempo de residência mínimo de 2 segundos não seja verificado como estabelecido na legislação. No caso da incineração dos RM, em que a temperatura deve atingir 850°C, quando o caudal de gases é superior a 6304 Nm³/h, ocorrem condições para que o tempo de residência mínimo de 2 segundos não seja verificado como estabelecido na legislação.

Com base na análise dos valores médios para os diferentes resíduos, verifica-se que no caso dos RH o caudal de gases geralmente é maior, no entanto para ambas as linhas verifica-se que em todos os períodos em que ocorre a incineração de RH, existe incumprimento do tempo mínimo de residência de gases na câmara de incineração secundária. No caso dos períodos em que ocorre incineração de RM, para ambas as linhas apenas verifica-se, o incumprimento do tempo de residência na câmara de combustão secundária no período H, referente á linha 32, é importante que referir que nesse dia ocorreu antes a incineração de RH.

De facto, na análise realizada com base nos valores instantâneos do caudal de gases, observa-se a ocorrência de situações de incumprimentos no que respeita ao tempo mínimo de residência de gases de incineração na câmara de combustão secundária.

4.7 RESULTADOS DE EXPLORAÇÃO: MÉTRICAS AMBIENTAIS

A avaliação do desempenho ambiental consiste na verificação do cumprimento dos valores limite fixados pela legislação. Os valores médios das emissões de HCl, NO_x, SO₂, partículas e HF foram calculados para intervalos de 30 minutos, relativamente ao CO foram considerados intervalos de 30 minutos e 10 minutos. Segundo o DL 85/2005, os valores médios a intervalos de 30 minutos e 10 minutos foram calculados para os períodos de funcionamento efetivo, excluindo as fases de arranque e paragem ou em que não sejam incinerados resíduos (durante a noite), a partir de valores medidos e após subtração do valor do intervalo de confiança indicado no ponto C2, do Anexo C. A análise das emissões dos poluentes incidiu sobre dados recolhidos durante duas semanas, para cada uma das linhas de incineração.

Consideram-se valores observados, os valores limites de emissão para a atmosfera sempre que; nenhum dos valores médios dos intervalos 30 minutos ultrapasse qualquer dos valores limite de emissão estabelecidos na coluna A da tabela C1 do Anexo C ou, caso se justifique 97% dos valores médios dos intervalos de trinta minutos obtidos ao longo do ano não excedam os valores limites de emissão fixados na coluna B da tabela C1 do Anexo C.

4.7.1 LINHA 32 - EMISSÕES

Na Figura 4.6 - Valores médios de emissão de HCl Figura 4.6 estão representados os valores médios de emissão de HCl calculados a intervalos de 30 minutos mostrando que é cumprido o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (1-50 mg/Nm³).



Figura 4.6 - Valores médios de emissão de HCl a intervalos de 30 minutos (L32)

A Figura 4.7 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de NOx mostrando que é cumprido o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (50-220 mg/Nm³).



Figura 4.7 - Valores médios de emissão de NOx (L32)

A Figura 4.8 apresenta os valores médios de intervalos de 10 minutos e na Figura 4.9 apresenta os valores médios de intervalos 30 minutos de emissão de CO. Para ambos os períodos é efetuada a comparação com os respetivos limites estabelecidos pela legislação, constando-se que frequentemente ocorrem picos de emissão no caso da incineração de resíduos hospitalares, mas não se verifica a ultrapassagem dos valores limite estabelecidos. Em relação ao documento BREF excede em três médias de 30 minutos os valores apresentados no documento referido (10-100 mg/Nm³).

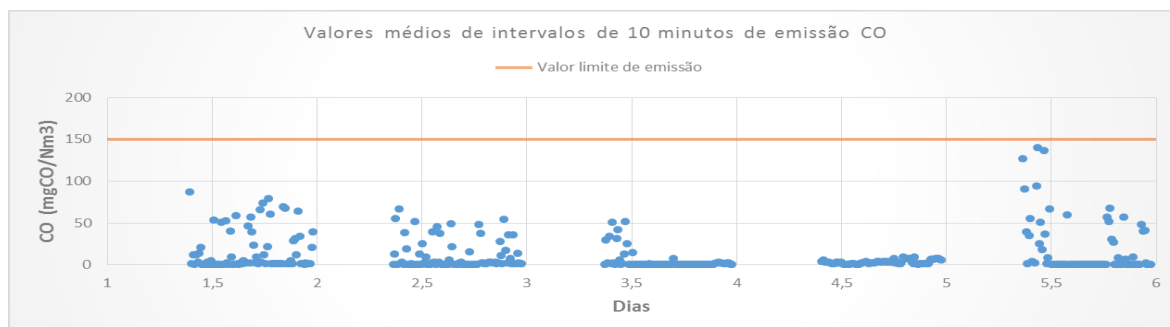


Figura 4.8 - Emissão de CO (médias de 10 minutos) (L32)

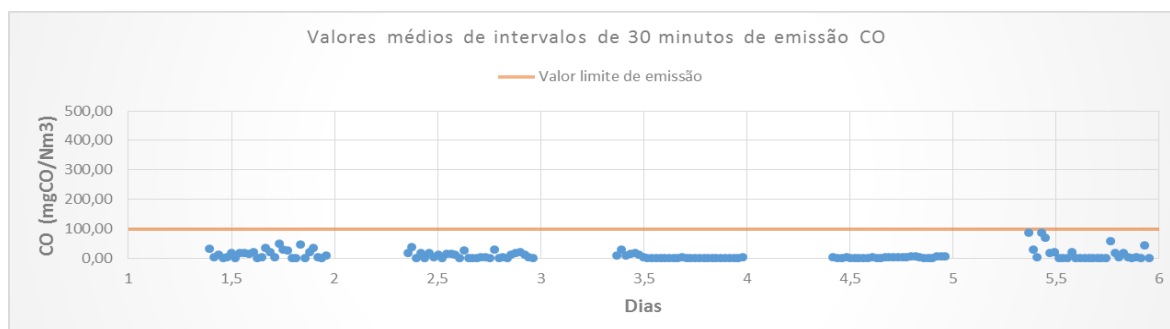


Figura 4.9 – Emissão de CO (médias de 30 minutos)

A Figura 4.10 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de SO₂, mostrando que cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (0.1-100 mg/Nm³).

Figura 4.10 – Emissão de SO₂ (médias de 30 minutos)

A Figura 4.11 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de partículas mostrando que cumpre o limite estabelecido pela legislação, e em relação ao valor estabelecido no BREF, excede em uma média o valor apresentado no documento BREF (1-15 mg/Nm³).

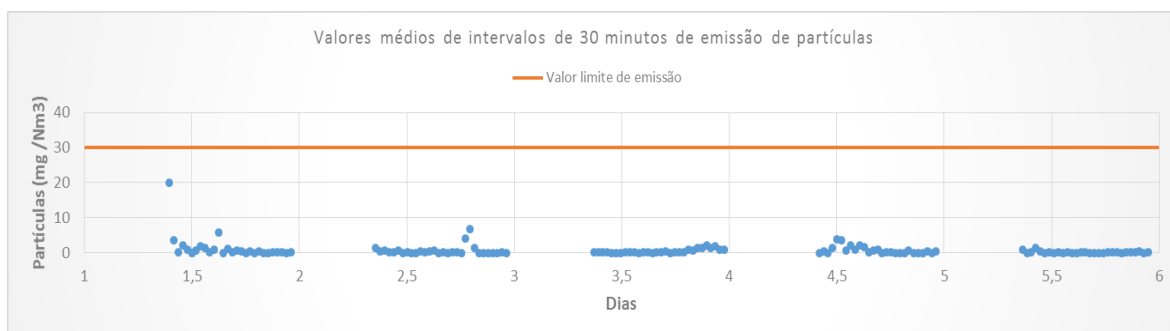


Figura 4.11 – Emissão de Partículas (médias de 30 minutos)

A Figura 4.12 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de carbono orgânico total (COT) mostrando que cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (0.1-20 mg/Nm³).



Figura 4.12 – Emissão de COT (médias de 30 minutos)

A Figura 4.13 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de ácido fluorídrico (HF) mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (<2 mg/Nm³).

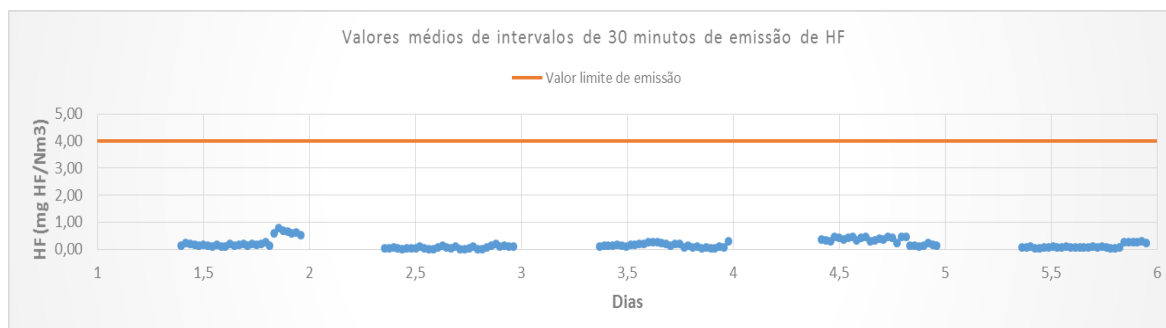


Figura 4.13 – Emissão de HF (médias de 30 minutos)

4.7.1 LINHA 31 – EMISSÕES

A Figura 4.14 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de ácido clorídrico (HCl) mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (1-50 mg/Nm³).NH₃



Figura 4.14 – Emissão de HCl (médias de 30 minutos)

A Figura 4.15 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de óxidos de azoto (NOx) mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (50-220 mg/Nm³).

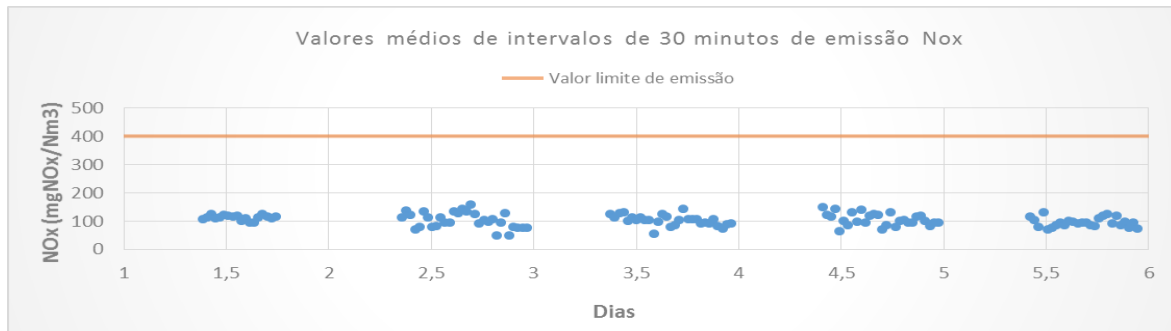


Figura 4.15 – Emissão de NOx (médias de 30 minutos)

A Figura 4.16 estão representados os valores médios de intervalos de 10 minutos e a Figura 4.17 apresenta os valores médios de intervalos 30 minutos de emissão de CO. Para ambos períodos é feita a comparação com os respectivos limites estabelecidos pela legislação. Tal como na linha 32 a análise das referidas figuras evidencia a ocorrência de picos de emissão, que estão abaixo do limite de emissão estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (10-100 mg/Nm³).

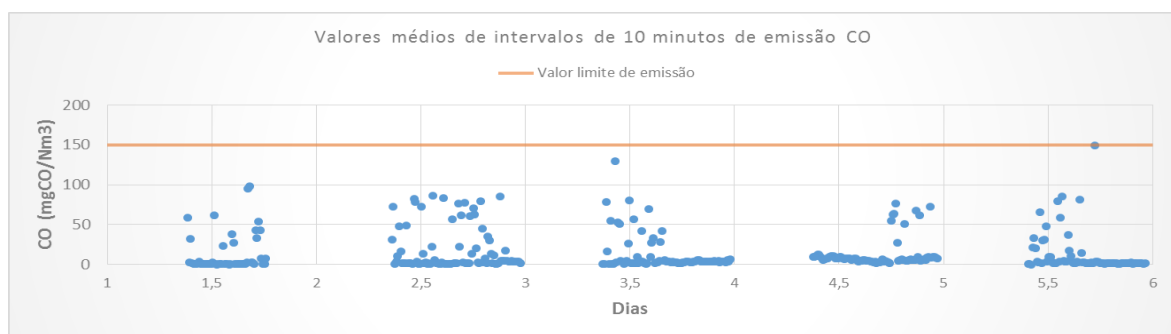


Figura 4.16 – Emissão de CO (médias de 10 minutos)

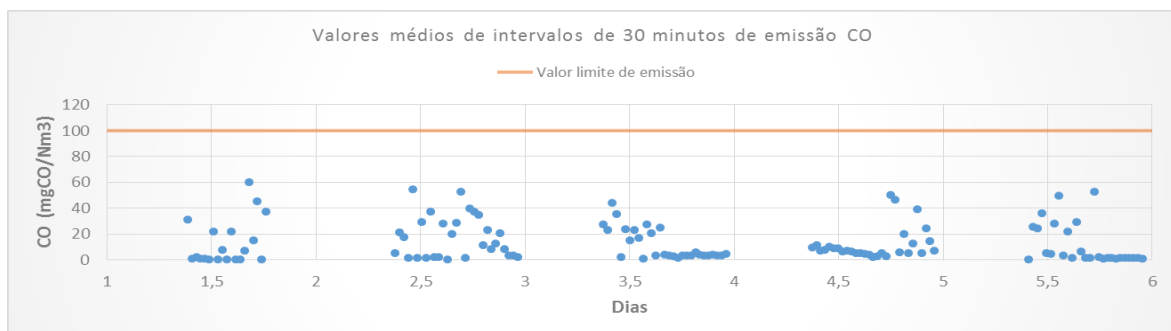


Figura 4.17 – Emissão de CO (médias de 30 minutos)

A Figura 4.18 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de dióxido de enxofre (SO₂), mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela

legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (0.1-100 mg/Nm³).



Figura 4.18 – Emissão de SO₂ (médias de 30 minutos)

A Figura 4.19 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de partículas, mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela legislação.



Figura 4.19 – Emissão de Partículas (médias de 30 minutos)

A Figura 4.20 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de carbono orgânico total (COT), mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF (0.1-20 mg/Nm³).

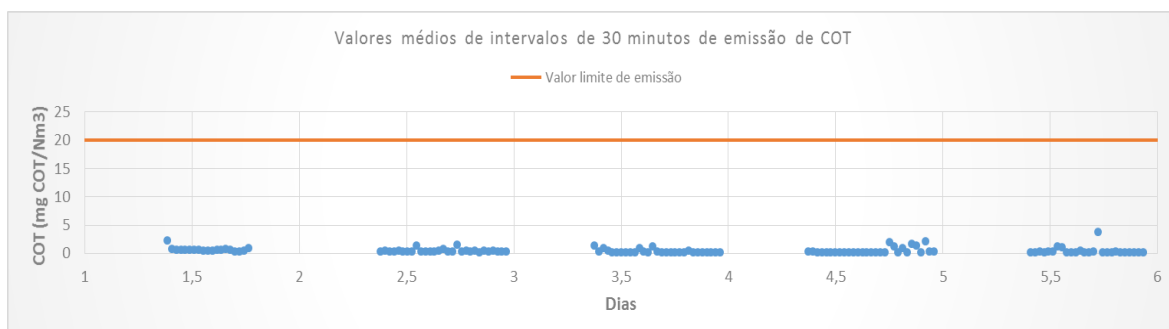


Figura 4.20 – Emissão de COT (médias de 30 minutos)

A Figura 4.21 apresenta os valores médios de intervalos de 30 minutos de emissão de ácido fluorídrico (HF), mostrando que a instalação cumpre o limite estabelecido pela legislação e está dentro dos valores apresentados no documento BREF ($<2\text{mg}/\text{Nm}^3$).



Figura 4.21 – Emissão de HF (médias de 30 minutos)

4.8 ANÁLISE DAS EMISSÕES DE CO POR MÉTODO DE REFERÊNCIA (MR)

Na secção anterior verificou-se que as medidas de CO apresentavam valores médios em situações pontuais de operação com RH que coincidiam com o teto de medida do sistema de monitorização, evidenciando assim a ocorrência de emissões de CO acima do referido teto. Para esclarecer esta situação foi efetuada uma medida em paralelo da concentração de CO recorrendo a um método de referência (MR) com uma janela de medida mais ampla. Podem ser observados registos instantâneos nos Anexos E (período noturno), F (período diurno com incineração de RH) e G (período diurno com incineração de RM). Os valores médios calculados podem ser observados nas Figura 4.22 e Figura 4.23 referentes à linha 32 e nas Figura 4.24 e Figura 4.25 referentes à linha 31. A análise das referidas figuras permite evidenciar de facto, o incumprimento dos valores limite de emissão fixados na legislação referentes a médias de 10 e 30 minutos, no caso da incineração de resíduos hospitalares.

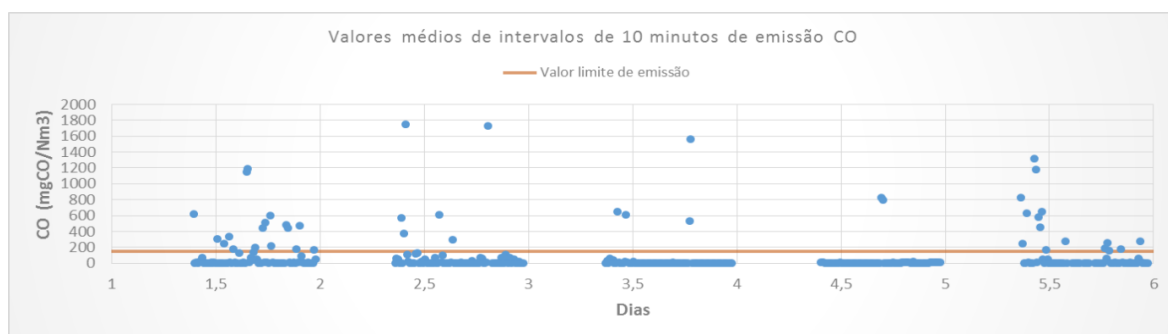


Figura 4.22 – Emissão de CO (médias de 10 minutos) por método de referência (Linha 32)

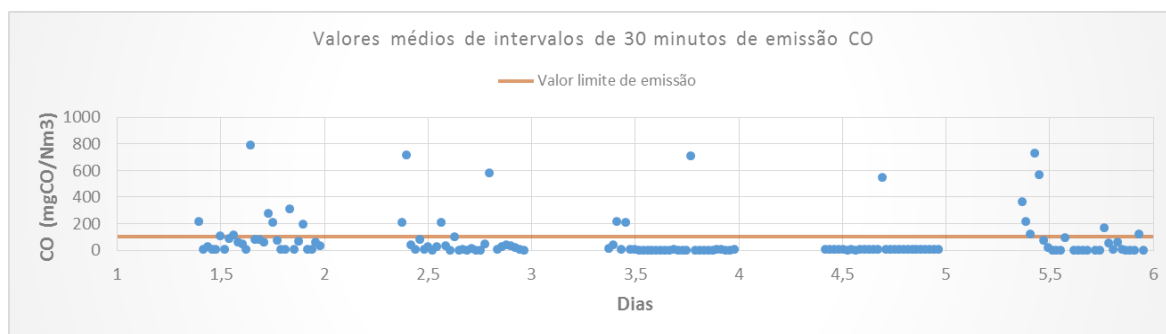


Figura 4.23 – Emissão de CO (médias de 30 minutos) por método de referência (Linha 32)

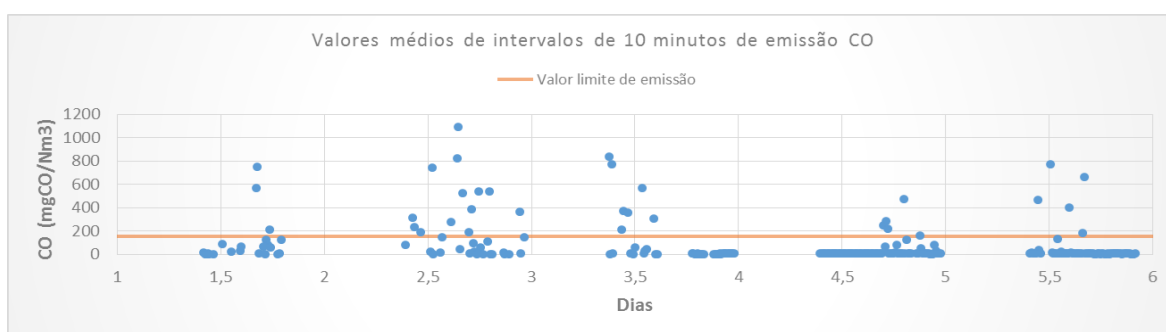


Figura 4.24 – Emissão de CO (médias de 10 minutos) por método de referência (Linha 31)

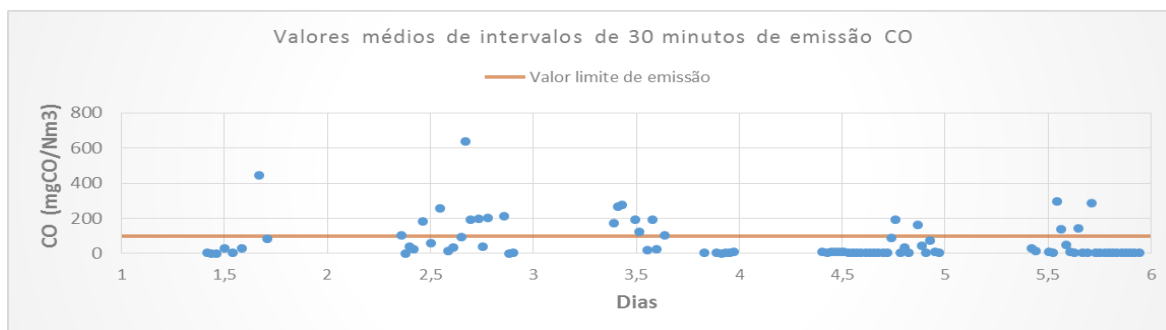


Figura 4.25 – Emissão de CO (médias de 30 minutos) por método de referência (Linha 31)

4.9 MÉTRICAS AMBIENTAIS – EMISSÕES DIÁRIAS

De acordo com a legislação, os valores médios diários para os poluentes: HCl, NO_x, SO₂, partículas, HF, CO e NH₃ e COT foram calculados a partir dos valores médios a intervalos de 30 minutos já referidos. Foi ainda calculado para a variável operatória, a emissão de CO₂. Consideram-se valores observados os valores limites de emissão para a atmosfera sempre que: Nenhum dos valores médios diários ultrapasse qualquer dos valores limites de emissão estabelecidos no Anexo C, no ponto C3. Ainda no que diz respeito ao cálculo

das emissões médias diárias, quando ocorra uma situação de mau funcionamento ou de manutenção do sistema de monitorização em contínuo, não podem ser excluídos mais de cinco valores médios a intervalos de trinta minutos, num mesmo dia e não podem ser excluídos mais de 10 valores médios diários por ano devido ao mau funcionamento ou à manutenção do sistema de monitorização em contínuo.

Foram calculados os valores de emissão médios diários, para todos os dias das duas semanas de estudo. Na Tabela 4.12 e na Tabela 4.13 estão apresentados os resultados das médias diárias, para a linha 31 e linha 32 respetivamente. A análise das referidas tabelas mostra que são cumpridos os valores limite de emissão para todos os poluentes, com exceção do CO, no entanto o valor limite de emissão para o CO (50 mg/Nm³) é cumprido nos dias 3 e 4 da linha 32 e no dia 4 da linha 31.

Comparando os valores das médias diárias dos poluentes, em relação aos valores estabelecidos no documento BREF, constata-se que a maioria respeita esses mesmos valores, no entanto para a linha 32 verifica-se que as médias diárias para o CO nos dias 1,2 e 5, e a média diária para o NH₃ no dia 4 ultrapassam aos valores referidos no BREF. Em relação à linha 31 verifica-se que as médias diárias para o CO nos dias 1,2,3 e 5, as médias diárias para o NH₃ nos dias 2,3,4 e 5, por último as médias diárias para as partículas referentes aos dias todos ultrapassam aos valores referidos no BREF.

4.9.1 VALORES MÉDIOS DIÁRIOS LINHA 32

Tabela 4.12 – Valores de emissões- Médias diárias (L32)

Poluente (mg/Nm ³)	VLE (mg/Nm ³)	Dias				
		1 Média diária (mg/Nm ³)	2 Média diária (mg/Nm ³)	3 Média diária (mg/Nm ³)	4 Média diária (mg/Nm ³)	5 Média diária (mg/Nm ³)
HCl	10	2.72	2.96	1.67	0.86	3.26
SO ₂	50	1.31	0.97	0.71	1.44	2.97
Partículas	10	1.48	0.58	0.41	0.73	0.16
NO _x	400	100.70	96.88	104.09	109.08	116.78
CO	50	16.28	10.77	4.46	3.46	17.26
CO (MR)	50	94.62	71.48	23.42	23.51	84.20
COT	10	0.95	0.59	0.42	0.63	1.09
NH ₃	X	4.79	4.06	4.70	12.29	4.48
HF	1	0.27	0.06	0.14	0.33	0.11
CO ₂	X	7.49	7.33	7.39	7.48	7.46

4.9.2 VALORES MÉDIOS DIÁRIOS L31

Tabela 4.13 – Valores de emissões- Médias diárias (L31)

Poluente (mg/Nm ³)	VLE (mg/Nm ³)	Dias				
		1 Média diária (mg/Nm ³)	2 Média diária (mg/Nm ³)	3 Média diária (mg/Nm ³)	4 Média diária (mg/Nm ³)	5 Média diária (mg/Nm ³)
HCl	10	4.09	1.97	1.64	0.59	3.43
SO ₂	50	1.82	2.22	1.15	1.17	4.44
Partículas	10	6.03	4.73	4.58	4.82	4.78
NO _x	400	112.35	103.76	102.94	106.99	95.13
CO	50	12.77	18.83	11.71	12.09	11.85
CO (MR)	50	39.43	84.14	50.23	25.38	41.98
COT	10	0.71	0.51	0.37	0.52	0.47
NH ₃	X	2.58	5.52	10.87	19.40	6.01
HF	1	0.004	0.03	0.018	0.02	0.005
CO ₂	X	7.36	7.20	7.39	7.49	7.29

4.10 MÉTRICAS DE OPERAÇÃO

4.10.1 RESÍDUOS TRATADOS

A capacidade de tratamento da instalação é de 0,5 ton de resíduos em base tal e qual (H) por hora em cada linha. Esta métrica calculada através das quantidades de resíduos em base tal e qual (H) incinerados por semana.

$$I_W = \sum_{\text{semana}} M_{Wn} \quad (\text{Eq. 2.36})$$

Verifica-se para a linha 31 $I_W = 29.0$ e para a linha 32 $I_W = 31.3$ ton H btq/semana. Esta métrica pode ser comparada com a capacidade de tratamento que é determinada por correspondente 0,5 ton H btq/h, 16h/dia e 6 dias /semana, pois só opera uma linha de cada vez. Verificando-se assim o cumprimento da métrica de resíduos tratados.

4.10.2 UTILIZAÇÃO DE ELETRICIDADE

O consumo médio específico de eletricidade determina-se numa base semanal tendo em conta a contagem de eletricidade e a quantidade de resíduos processada

$$I_{TW} = \frac{L_{Tf} - L_{Tp}}{I_W} \quad (\text{Eq. 2.37})$$

Na linha 31 o $I_{TW} = 210$ kWh/ton H btq. O consumo de eletricidade da instalação é também objeto de garantia do fabricante da instalação, tendo como valor garantia de 220 kWh/ton resíduo, verificando-se assim o cumprimento da métrica do consumo de eletricidade.

4.10.3 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA

A métrica do consumo de água, dá-nos a quantidade de água utilizada por tonelada de resíduos tratados, sendo esta é um dos valores garantia fornecidos pelo do fabricante. Calcula-se fazendo o somatório das quantidades totais de água utilizada, calculada a partir dos registos dos caudais de injeção das soluções de ureia e leite cal, (No caso da ureia é somado o registo do caudal de água adicionada no processo de injeção de ureia); dos registos iniciais e finais do contador de água de arrefecimento do depurador e também os registos do contador de água de arrefecimento da câmara de combustão primária, neste ultimo caso é insignificante para o cálculo da métrica, visto que nas duas

semanas, para ambas as linhas, não se verificou o uso de água para arrefecimento da câmara de combustão primária.

$$I_B = \frac{C_{H_2O,LC} + C_{H_2O,U} + C_{H_2O,DG} + C_{H_2O,C1^o}}{I_w} \quad (\text{Eq. 2.38})$$

O valor da métrica do consumo de água por tonelada de resíduos semelhante para as duas linhas, verificando-se para a linha 31 $I_B = 0.211 \text{ m}^3/\text{ton H btq}$ e para a linha 32 $I_B = 0.202 \text{ m}^3/\text{ton H btq}$, cumprindo assim com o valor garantia, que fixa o máximo de $1 \text{ m}^3/\text{ton}$ de resíduo tratado.

4.10.4 UTILIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEL AUXILIAR

O consumo semanal de combustível é uma métrica importante pois a quantidade de combustível é o principal custo de operação da instalação e é um dos valores garantia do fabricante. Calcula-se a partir dos registos iniciais e finais de contagem de gasóleo de alimentação aos queimadores da câmara de incineração primária deduzindo a contagem de retorno, adicionado dos registos iniciais e finais de contagem de gasóleo de alimentação ao queimador da câmara de incineração secundária.

$$I_F = (L_{Ff} - L_{Fp})_{\text{consumo1}^o} - (L_{Ff} - L_{Fp})_{\text{retorno1}^o} + (L_{Ff} - L_{Fp})_{\text{consumo2}^o} \quad (\text{Eq. 2.39})$$

Constata-se para linha 31 $I_F = 8889.3 \text{ kg/ semana}$ e para a linha 32 $I_F = 8826.3 \text{ kg/semana}$, para ambas as linhas a métrica do consumo de combustível auxiliar excede o valor garantia fixado em 7200 kg/semana .

Através da equação 2.40 foi calculado a métrica do consumo específico de combustível auxiliar por tonelada de resíduo tratado.

$$I_{FW} = \frac{I_F}{I_w} \quad (\text{Eq. 2.40})$$

Para a linha 31 na incineração de RH verifica-se $I_{FW} = 103 \text{ kg combustível auxiliar/ton H btq}$, enquanto que para os RM constata-se $I_{FW} = 129.1 \text{ kg combustível auxiliar/ton H btq}$. Para a linha 32 na incineração de RH verifica-se $I_{FW} = 110 \text{ kg combustível auxiliar/ton H btq}$, enquanto que para os RM $I_{FW} = 119.3 \text{ kg combustível auxiliar/ton H btq}$, constatando-se assim que os RM necessitam de mais combustível auxiliar na sua incineração.

4.10.5 CONSUMO DE UREIA

O consumo de solução de ureia está dependente da natureza dos resíduos a incinerar e é efetuada por injeção direta de uma solução de ureia na conduta de ligação entre a câmara de incineração secundária e o recuperador de calor, através de um processo catalítico não seletivo, específico para a redução de NOx. Os valores observados na operação permitem concluir o consumo médio da solução de ureia na linha 31 é de 1.3 L solução de ureia/h para os RH, de 3.1 L solução de ureia /h para os RM e 0.7 L solução de ureia /h para a utilização de gásóleo simples (período noturno), no caso da linha 32 para os RH é de 1.8 L solução de ureia /h, para os RM é de 4.2 L solução de ureia /h e 1.1 L solução de ureia /h para a utilização de gásóleo simples, sendo calculados a partir dos valores médios observados para o caudal de ureia.

O indicador de consumo de ureia determina-se de acordo com

$$I_U = \frac{\overline{L}_u C_U}{I_w} \quad (\text{Eq. 2.41})$$

Em que;

$$\overline{L}_u = \sum \overline{L}_{un,i} \cdot \Delta t_i \quad (\text{Eq. 2.42})$$

Sendo dado a partir dos valores médios de caudal de ureia correspondentes a cada um dos vários períodos ao longo da semana em foram incinerados resíduos de cada uma das tipologias, sendo I_w a quantidade total de resíduos dessa tipologia incinerados nessa semana.

A concentração de ureia (C_U) não é disponibilizada no Manual de Operação mas pode ser estimada com base no seguinte: admitindo uma concentração de cerca de 600ppm NO de efluente não tratado, a redução do conteúdo em NO até 100mg/Nm³ e um excesso de 10%, pode concluir-se que a concentração da solução é de cerca de 500 gramas de ureia por litro de solução.

Nestas circunstâncias estima-se que os indicadores de consumo de ureia na linha 31 para os RH seja de $I_U=1.8$ kg ureia /ton H btq, enquanto que para os RM seja de $I_U=3.7$ kg ureia/ton H btq e para a utilização de gásóleo simples é de 0.3 kg/h Na a linha 32 para os RH estima-se que $I_U=2.5$ kg ureia /ton H btq enquanto que para os RM seja de $I_U=4.2$ kg ureia /ton H btq e para a utilização de gásóleo simples é de 0.6 kg/h.

Através da análise da métrica do consumo de ureia, constata-se que os RM exigem um maior consumo de ureia, justificado por estes conterem mais materiais azotados em comparação que os RH.

Em relação ao consumo de ureia por tonelada de resíduo tratado, não existe valor garantia para respetiva comparação.

4.10.6 CONSUMO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

A utilização de uma suspensão aquosa de Ca(OH)_2 (leite de cal) está relacionado com o controlo da ocorrência de gases ácidos nos efluentes gasosos (SO_2 , HCl e HF), realizada no lavador de gases após o recuperador de calor.

A consumo da solução de leite de cal foi determinado a partir dos registos disponíveis de caudal, tendo-se concluído que o consumo específico de solução de leite de cal na linha 31 é de 25 L solução leite de cal/h para os RH, de 18.6 L solução leite de cal/h para os RM e 12 L solução leite de cal/h para a utilização de gásóleo simples (período noturno), no caso da linha 32 para os RH é de 32.0 L solução leite de cal/h, para os RM é de 25.0 L solução leite de cal/h e de 11.0 L solução leite de cal/h para a utilização de gásóleo simples.

O consumo específico de hidróxido de cálcio é dado de acordo com

$$I_{LC} = \frac{\overline{L}_{lc} C_{lc}}{I_w} \quad (\text{Eq. 2.43})$$

em que a C_{LC} é a concentração do leite de cal (50g Ca(OH)_2 /L, correspondente a cerca de 5% em massa), I_w é a quantidade dos resíduos tratados em massa e o volume de suspensão de leite de cal utilizada é dado por

$$\overline{L}_{LC} = \sum \overline{L}_{lci} \Delta t_i \quad (\text{Eq. 2.44})$$

Sendo dado a partir dos valores médios de caudal de leite de cal correspondentes a cada um dos vários períodos ao longo da semana em foram incinerados resíduos de cada uma das tipologias, sendo I_w a quantidade total de resíduos dessa tipologia incinerados nessa semana.

Nestas circunstâncias estima-se que os indicadores de consumo de Ca(OH)_2 sejam no caso da linha 31 para os RH de $I_{LC}=30.0$ kg Ca(OH)_2 /ton H btq, e para os RM de $I_{LC}=19.6$ kg Ca(OH)_2 /ton H btq e para a utilização de gásóleo simples é de 6.2 kg/h. No caso da

linha 32 para os RH, de $I_{LC} = 40.0 \text{ kg Ca(OH)}_2 / \text{ton H btq}$, e para os RM I_{LC} é de $26.5 \text{ kg Ca(OH)}_2 / \text{ton H btq}$. e para a utilização de gásóleo simples é de $5.75 \text{ kg Ca(OH)}_2 / \text{h}$.

Os valores atrás referidos são excessivos relativamente aos valores garantia, considerando-se que devem ser significativamente reduzidos, visto as reduzidas emissões de HCl, HF e SO_2 e o seu respetivo cumprimento dos valores limite de emissão.

Através da análise da métrica do consumo de hidróxido de cálcio, verifica-se que os RH exigem um maior consumo de hidróxido de cal, justificado por estes incluírem mais matérias plásticas em comparação que os RH.

Acresce que a instalação prevê a adição direta de CaO, mas não há qualquer registo que a instalação faça uso de CaO.

Os valores atrás referidos comparam desfavoravelmente pois excedem significativamente o valor garantia fixado para a instalação.

4.10.7 NÚMERO DE TRABALHADORES

O número de operadores em permanência na instalação são dois em cada turno, com a responsabilidade das operações de pesagem e carga de resíduos e ainda acompanhamento e manipulação local dos dispositivos de arraste de resíduos e escórias; há ainda um operador em permanência na sala de controlo a fazer o acompanhamento das variáveis operatórias e o ajuste de parametrizações, se necessário. A instalação está dotada de dispositivos de operação automática, mas a visualização das condições de combustão tem que ser feita a partir dos postigos disponíveis in loco. Ocasionalmente a instalação necessita de mão-de-obra ocasional para tarefas de manutenção semanal ou de emergência. Durante o período noturno há apenas um operador na sala de controlo.

Nestas circunstâncias a instalação necessita para operar de pelo menos 7 operadores.

4.10.8 PRODUÇÃO DE VAPOR

Apesar de concebida para incinerar resíduos, a instalação gera calor em permanência devido à combustão de combustível auxiliar, e dos resíduos, em particular hospitalares, tendo em conta o respetivo conteúdo em plásticos, já que as temperaturas na câmara secundária excedem os 1000°C em permanência a avaliar pelos registos disponíveis.

Por razões desconhecidas não se encontram disponíveis registos da quantidade de vapor produzido, apenas sabendo-se que se apresenta a 10 bar e é saturado. Também não se conhece as condições de admissão da água ao dispositivo de recuperação de calor (permutador do tipo tubular de dupla passagem para gases e carcaça para a água).

O manual de Operação refere uma produção máxima de vapor saturado a 10 bar de 2,8ton/h.

O modelo termodinâmico permite estimar a quantidade de vapor produzido em cerca de 2,7 ton/h considerando que a água é admitida ao recuperador de calor a 40°C, no estado líquido sob pressão a 10 bar, e que o caudal de gases que é admitido ao recuperador de calor é de 2,0kg/s a uma temperatura de 1100°C e saída a 250°C, para o dispositivo de remoção de gases ácidos, correspondente a cerca de 2,26MW de energia térmica cedida nos gases, com perdas estimadas em 15% no recuperador de calor.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÕES

Este estudo desenvolvido teve como propósito a análise do desempenho técnico e ambiental de uma infraestrutura de gestão de resíduos, tendo como objetivos a análise e organização da informação disponível relativa à infraestrutura e definição de um modelo de análise; análise do modelo de exploração tendo em conta as condições de operação, consumo de matérias-primas, produção de energia e emissões; o desenvolvimento de um modelo de balanço mássico e energético para análise da exploração; a seleção de indicadores de desempenho e a conceção e aplicação de um modelo de avaliação de desempenho. Para alcançar as metas acima descritas efetuei uma pesquisa bibliográfica sobre critérios legais de exploração; condições de operação e modelos de desempenho; avaliação das condições operacionais e analisei a conformidade com os valores estabelecidos na legislação e na licença de exploração.

Assim, as ferramentas que foram consideradas incluem as que se utilizam no âmbito da análise de processos entre as quais o balanço mássico e o balanço energético. Em qualquer caso é importante reconhecer se o processo em estudos decorre em estado estacionário ou em estado transiente, se o processo é aberto ou fechado, e ainda reconhecer as simplificações que geralmente acompanham os modelos de análise que foram desenvolvidos.

A Instalação de Incineração de Resíduos Hospitalares e de Matadouro (IIRHM) objeto deste trabalho foi dimensionada para uma capacidade de tratamento de 0,5 t/h por cada uma das duas linhas de tratamento, operando em contínuo mas apenas durante dezasseis horas diárias de alimentação de resíduos sob a forma de cargas a cada 5 a 6 minutos, durante 5 a 6 dias por semana, após o que é sujeita a paragem e arrefecimento para manutenção semanal. A adição de combustível auxiliar ocorre durante o arranque da instalação e durante os períodos noturnos sem alimentação de resíduos ou sempre que o poder calorífico dos resíduos assim o justifique.

O processo de incineração decorre em duas fases sucessivas: combustão primária onde ocorre a combustão na fase sólida e combustão secundária onde ocorre a combustão gasosa (*afterburning*). A temperatura dos gases de combustão secundária atinge os 1100°C durante 2 segundos no caso da incineração de resíduos hospitalares mas apenas 850°C no caso de resíduos de matadouro. Após a combustão, a energia térmica do

gases de combustão é recuperada sob a forma de vapor de água saturado a 10 bar, destinado a um utilizador nas proximidades, devolvendo condensados.

Da análise dos registos de operação, pode concluir-se que em geral as condições operatórias estão de acordo com o Manual de Operação e verificando a Licença da Instalação, nomeadamente os valores médios de emissão de NO_x, HCl, SO₂, HF, COT, NH₃ e partículas estão de acordo com o estabelecido na lei, assim com o cumprimento da temperatura mínima de incineração de RH e RM.

Em relação aos valores garantia para o período de observação de 2 semanas, verifica-se o cumprimento dos valores garantia para a utilização de eletricidade. Na utilização de consumíveis a água cumpre ao contrário do leite de cal que ultrapassa o valor garantia, na incineração de RH á volta dos 50% e 60% para as linhas 31 e linha 32 respetivamente e na incineração de RM ultrapassa cerca dos 17% e 37%, para as linhas 31 e 32 respetivamente. Em relação à utilização de combustível auxiliar pode concluir-se que ultrapassa em cerca de 23%, sendo que a sua utilização durante noite corresponde a cerca de 60% do consumo total.

Contudo há problemas de operação que subsistem que se traduzem essencialmente nos seguintes aspetos:

(a) Elevadas emissões de CO que ultrapassam as permissões, geralmente na incineração de resíduos hospitalares, em que, sendo limitadas pela gama de medida e pelo tempo de validação, têm vindo a “esconder” nos registos da instalação a situação real das referidas emissões, e que resultarão de, entre outros aspetos, transientes operatórios ligados à adição de cargas de resíduos e à presença de resíduos com elevado conteúdo em plásticos.

(b) Tempo de residência de gases no incinerador secundário inferior a 2 segundos, a avaliar pelo caudal de gases indicado nos registos disponíveis, pese embora parte do caudal de gases na chaminé resultar da admissão de ar no âmbito da operação dos dispositivos de tratamento de gases.

(c) Ocorrência de frequentes quebras de alimentação e ocorrência de danos no equipamento resultantes da acumulação de resíduos fundidos de cinzas, da ocorrência de incêndios e explosões, em resultado da incineração de resíduos de matadouro.

5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A difícil harmonização dos dados calculados através do balanço mássico e energético com os valores observados.

As conclusões apresentadas neste trabalho resultam de um tratamento tão exaustivo quanto possível, mas de apenas duas semanas de observação. A análise comparada entre resultados registados e resultados de modelização mostrou diferenças na composição gasosa e/ou caudal dificilmente compagináveis mas seguramente justificadas. A compreensão e resolução destas situações passa por um conhecimento mais aprofundado quer da composição dos resíduos, quer do funcionamento do processo em si (em particular a localização das diferentes adições de água e de ar ao longo do processo), mas também o recurso as ferramentas de análise tais como a reconciliação de dados.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Em forma de sugestões para trabalhos futuros, entende-se que seria útil obter mais informação no que respeita à composição de resíduos hospitalares e resíduos de matadouro, testando essas condições no modelo termodinâmico para antecipar de forma mais fidedigna as necessidades de ar de combustão, a composição e o caudal do efluente.

Sugere-se a implementação de um controlo mais apertado do uso de recursos, nomeadamente de leite de cal e uma contabilização da quantidade de energia térmica produzida sob a forma de vapor de processo.

Sugere-se uma pesquisa mais profundada sobre valores garantia e métricas processuais, comparando com as práticas correntes e com informação oriunda da literatura científica, de bases de dados tais como Ecoinvent, ou ainda a partir da bibliografia de fabricantes de equipamento.

Apresenta particular interesse no aspeto operacional o estudo da formação de aglomerados vitrificados, nomeadamente a sua relação com a temperatura da câmara primária, a composição dos resíduos e o tempo de residência de sólidos.

Referências bibliográficas

- Alvim-Ferraz, M. C. M., & Afonso, S. a V. (2003). Incineration of different types of medical wastes: Emission factors for gaseous emissions. *Atmospheric Environment*, 37(38), 5415–5422. [http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00572-7](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00572-7)
- Alvim Ferraz, M.C.M., Cardoso, J.I.B., Pontes, S.L.R., 2000. Concentration of atmospheric pollutants in the gaseous emissions of medical waste incinerators. *Journal of the Air and Waste Management Association* 50, 131–136.
- Ariyaratne, W. K. H., Melaaen, M. C., Eine, K., & Tokheim, L. a. (2010). Meat and Bone Meal as a Renewable Energy Source in Cement Kilns : Investigation of Optimum Feeding Rate Key words.
- Auvermann, B., Kalbasi, A., & Ahmed, A. (2004). Carcass Disposal: A Comprehensive Review - Rendering.
- BREF - Best Available Technologies Reference. 2004. Documento de referência sobre as melhores técnicas disponíveis para a incineração de resíduos.
- Bujak, J. (2010). Experimental study of the lower heating value of medical waste. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(6), 1151–1158.
- Casian, E. (2013), *Recuperação de Energia em Processos de Incineração de Resíduos*, Tese de, Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Chartier Y., Emmanuel J., Pieper U., Pruss A., Rushbrook P., Stringer R., Townend W., Wilbum S., Zghondi R. (2014) *Safe Management of Wastes from Health Activities*. 2nd edition, World Health Organization, Geneva.
- Couto, N., Silva, V., Monteiro, E., & Rouboa, a. (2013). Hazardous waste management in Portugal: An overview. *Energy Procedia*, 36, 607–611. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.069>
- EPA, Environmental protection Agency, U. states E. P. (2000). RCRA, Superfund & EPCRA Hotline Training Module Introduction to : Hazardous waste Incinerators October 1999. Solid Waste and Emergency Response, (February).
- ERSAR, & LNEC. (2012). Guia técnico nº 19 - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2.ª geração do sistema de avaliação. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- ERSAR. (2013). Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 2.a geração do sistema de avaliação (Vol. 19). Lisboa: ERSAR.
- Ficarella, A., Laforgia, D., 2000. Numerical simulation of flowfield and dioxins chemistry for incineration plants and experimental investigation. *Waste Management* 20, 27–49.
- Fraiwan L.A., Lweesy K., Oweis R. (2013) Medical waste management practices in southern Jordan. *Int. J. Environment and Waste Management* 11, 3, 255–266.
- Gravalos, I., Gialamas, T., Koutsofitis, Z., Kateris, D., Tsiropoulos, Z., Xyradakis, P., & Georgiades, A. (2008). Energetic Study on Animal Fats and Vegetable Oils Using Combustion Bomb Calorimeter. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 4(1), 69–74.
- Lee, C. C., & Huffman, G. L. (1996). Medical waste management/incineration. *Journal of Hazardous Materials*, 48(1-3), 1–30. [http://doi.org/10.1016/0304-3894\(95\)00153-0](http://doi.org/10.1016/0304-3894(95)00153-0)
- Mohiuddin, S. (2013). Change in Bone Density as a Function of Water Content, 8(1), 48–51. <http://doi.org/10.5829/idosi.wjms.2013.8.1.65159>

- Mühlich, M., Scherrer, M., & Daschner, F. D. (2003). Comparison of infectious waste management in European hospitals. *Journal of Hospital Infection*, 55(4), 260–268. <http://doi.org/10.1016/j.jhin.2003.08.017>
- Oosterom, J. (1985). Guidelines on the hygienic disposal and rendering of dead animals and animal wastes to protect human and animal health (World Health Organization report WHO/VPH/85.5). The Netherlands: Laboratory for Water and Food Microbiology, National Institute of Public Health and Environmental Hygiene
- Orellana, C., Peña, F., García, a., Perea, J., Martos, J., Domenech, V., & Acero, R. (2009). Carcass characteristics, fatty acid composition, and meat quality of Criollo Argentino and Braford steers raised on forage in a semi-tropical region of Argentina. *Meat Science*, 81(1), 57–64. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.015>
- Profico Ambiente (2004). Monitorização da Implementação de Planos e Estratégias – Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares (PERH). Profico Ambiente e INR – Instituto dos Resíduos.
- Russo, M. T (2003). Tratamento e Gestão de resíduos Sólidos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra.
- Saxena, S. C., & Jotshi, C. K. (1996). Management and combustion of hazardous wastes. *Progress in Energy and Combustion Science*, 22(5), 401–425. [http://doi.org/10.1016/S0360-1285\(96\)00007-X](http://doi.org/10.1016/S0360-1285(96)00007-X)
- SEIÇA, A. (1998). Resíduos de cuidados médicos: opções de tratamento. *Águas & Resíduos*, Ano III, n.º 8. APDA - Associação Portuguesa dos Distribuidores e Drenagem de Água, Associação Portuguesa para Estudos de Saneamento Básico.
- World Health Organization (2005) Management of Solid Health-Care Waste at Primary Health-Care Centres A Decision-Making Guide Immunization, Vaccines and Biologicals (IVB) Protection of the Human Environment Water, Sanitation and Health (WSH,) Geneva.

WEBGRAFIA

- Agência Portuguesa do Ambiente – Políticas de Resíduos [consultado em 11 de Março de 2015]. Disponível em <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84>
- Comissão Europeia – A economia Circular, Interligação, criação e conservação de valor, [consultado a 2 de junho de 2015] Disponível em <http://bookshop.europa.eu/en/the-circular-economy-pbKH0414408/>
- Direção-Geral do Ambiente - A União Europeia e a Gestão dos Resíduos [consultado em 15 de Abril de 2015]. Disponível em http://ec.europa.eu/environment/waste/publications/pdf/eufocus_pt.pdf
- Direção-Geral da Saúde – Resíduos Hospitalares [consultado em 22 de Março de 2015]. Disponível em <https://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/residuos-hospitalares.aspx>
- PERH: Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares 2011-2016. [consultado a 12 de Março de 2015] Disponível em http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/Planeamento/PERH/PERH_2011_2016.pdf
- Sinfic - Sistemas de Informação Industriais e Consultoria, (2007) Monitorização dos Processos: Selecção das Métricas, Avaliação do Desempenho e Monitorização [consultado em 6 de

Maio de 2015]. Disponível em <http://www.sinfic.pt/SinficWeb/displayconteudo.do2?numero=24886>

World Health Organization (2004) Safe health care waste management. Policy paper. [consultado a 3 Fevereiro de 2015] Disponível em www.healthcarewaste.org

DOCUMENTOS LEGISLATIVOS

Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros.

Directiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro de 2000, relativa à incineração de resíduos.

Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, lei-quadro de gestão de resíduos estabelece o novo regime geral da gestão de resíduos

Regulamento (CE) n.º 1272/2008, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativo à classificação, rotulagem e embalagem das substâncias e misturas.

Directiva 67/548/CEE relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas

Decreto-Lei nº 85/2005, de 28 de Abril, estabelece o regime legal da incineração e co-incineração de resíduos

Portaria n.º 335/97, 16 de Maio, que dita as regras do transporte de resíduos em território nacional

Decreto-Lei nº 41-A/2010, de 29 de Abril), que regula o transporte terrestre rodoviário e ferroviário de mercadorias perigosas

Portaria nº 174/97, de 10 de Março - Estabelece as regras de instalação e funcionamento de unidades ou equipamentos de valorização ou eliminação de resíduos perigosos hospitalares, bem como o regime de autorização da realização de operações de gestão de resíduos hospitalares

Regulamento (CE) n.º 1774/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Outubro de 2002, que estabelece regras sanitárias relativas aos subprodutos animais não destinados ao consumo humano

REGULAMENTO (CE) nº.1069/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Outubro de 2009 que define regras sanitárias relativas a subprodutos animais e produtos derivados não destinados ao consumo humano.

Diretiva 2010/75/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de novembro, relativa às Emissões Industriais

Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto, Estabelece o regime jurídico relativo à prevenção e controlo integrados da poluição

Portaria nº 335/97, de 16 de Maio de 1997, Fixa as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos dentro do território nacional

Documentos específicos da IIRM (confidenciais)

Licença Ambiental de IIRM

Manual de Operação da IIRM

Protocolo de Entendimento da IIRM

Anexo A – Métricas de desempenho na gestão de resíduos

Tabela A1 – Lista de indicadores de gestão de resíduos urbanos (ERSAR, 2015)

Categoria	Subcategoria	Ref	Indicador (Unidades)	Alt a	Baix a
Adequação da interface com o utilizador	Acessibilidade do serviço aos utilizadores	RU01	Acessibilidade física do serviço (%)	X	X
		RU02	Acessibilidade do serviço de recolha seletiva (%)	X	X
		RU03	Acessibilidade económica do serviço (%)	X	X
	Qualidade do serviço prestado aos utilizadores	RU04	Lavagem de contentores (-)	X	X
		RU05	Resposta a reclamações e sugestões (%)	X	X
Sustentabilidade da gestão do serviço	Sustentabilidade económica	RU06	Cobertura dos gastos totais (-)	X	X
	Sustentabilidade infraestrutural	RU07	Reciclagem de resíduos de embalagem (%)	X	X
		RU08	Valorização orgânica (%)	X	n.a.
		RU09	Incineração (%)	X	n.a.
		RU10	Utilização da capacidade de encaixe do aterro (%)	X	n.a.
		RU11	Renovação do parque de viaturas (km/viatura)	X	X
		RU12	Rentabilização do parque de viaturas (kg/m³)	n.a.	X
	Produtividade física dos recursos humanos	RU13	Adequação dos recursos humanos (n.º/1000t)	X	X
Sustentabilidade ambiental	Eficiência na utilização de recursos ambientais	RU14	Utilização de recursos energéticos (kWh/t) (tep/1000t)	X	n.a.
				n.a.	X
	Eficiência na prevenção da poluição	RU15	Qualidade dos lixiviados após tratamento (%)	X	n.a.
		RU16	Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO2/t)	X	X
n.a. – não aplicável					

Anexo B - Gamas de monitorização

Tabela B1 - Gamas de medição dos dispositivos de monitorização de emissão de efluentes gasosos em unidades de incineração de resíduos

Parâmetro	Unidades de medida	Gama
O ₂	Volume % O ₂	0-21
CO	mg/Nm ³ , seco	0-75/0-300
Partículas	mg/Nm ³	0-20/0-60
SO ₂	mg/Nm ³ , seco	0-75/0-30
NO	mg/Nm ³ , seco (valor calculado com fator de 1,4754)	0-200/0-300
NO _x	mg/Nm ³ , NO _x seco	0-350/0-500
C	mg/Nm ³ . Ges C, seco	0-30
H ₂ O	Volume % H ₂ O, húmido	0-40
HCl	mg/Nm ³ , seco	0-15/0-90
NH ₃	mg/Nm ³ , seco	0-15
Pressão	mbar (abs)	0-1030
Temperatura	graus Celsius	0-300

Anexo C – Monitorização de emissões para a atmosfera

C.1 - Condições de funcionamento normal

Os resultados da monitorização efetuada ao efluente gasoso emitido para a atmosfera, para a verificação do cumprimento dos valores limites de emissão estabelecidos, devem ser corrigidos para as seguintes condições: temperatura 273 K, pressão 101,3 kPa, 11% de oxigénio e gás seco no efluente gasoso das instalações de incineração.

C.2 - Valores limite para a emissão de poluentes atmosféricos

De acordo com o Decreto-lei nº 85/2005, de 28 de abril, consideram-se observados os Valores Limite de Emissão (VLE) para a atmosfera sempre que:

- Nenhum dos valores médios diários ultrapasse qualquer dos valores limites de emissão estabelecidos no anexo V e 97% dos valores médios diários ao longo do ano não excedam os seguintes valores limites de emissão de concentrações de monóxido de carbono (CO) nos gases de combustão (excluindo as fases de arranque e paragem): 50 mg/Nm³ de gás de combustão, determinado como valor médio diário;
- Nenhum dos valores médios dos intervalos de trinta minutos ultrapasse qualquer dos valores limites de emissão estabelecidos na Tabela 3.1, ou, caso se justifique, 97% dos valores médios dos intervalos de trinta minutos obtidos ao longo do ano não excedam os limites de emissão fixados na coluna b da tabela 3.1.

Nenhum dos valores médios ao longo do período de amostragem fixado para os metais pesados, dioxinas e furanos ultrapasse os valores limites de emissão estabelecidos na tabela 3.2 e os valores sejam medidos durante um período de amostragem mínimo de seis e máximo de oito horas (o valor limite de emissão refere-se à concentração total de dioxinas e furanos calculada com base no conceito de equivalência tóxica, de acordo com o anexo I, que determina fatores de equivalência para dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos, dioxinas e furanos - 0,1 ng/m³);

- Seja cumprido o valor de 150 mg/m³ de gás de combustão em, pelo menos, 95% de todas as medições determinadas como valores médios a intervalos de dez minutos ou 100 mg/m³ de gás de combustão de todas as medições determinadas como valores médios a intervalos de trinta minutos, obtidas durante um período de vinte e quatro horas.

Os valores médios a intervalos de trinta e dez minutos devem ser determinados durante o período de funcionamento efetivo, excluindo as fases de arranque e de paragem em que não sejam incinerados quaisquer resíduos, a partir dos valores medidos após a subtração

do valor do intervalo de confiança segundo o anexo III do DL 85/2005, as medições para determinar as concentrações de substâncias que poluem o ar e a água devem ser representativas. A amostragem e a análise de todos os poluentes, incluindo as dioxinas e os furanos, bem como os métodos de medição de referência para calibração dos sistemas automáticos de medição, devem observar as normas CEN. Se não existirem normas CEN, aplicam-se as normas ISO, normas nacionais ou internacionais que garantam dados de qualidade científica equivalente. Ao nível do valor limite diário de emissões, os valores dos intervalos de confiança de 95% de cada resultado medido não devem ultrapassar as seguintes percentagens dos valores dos valores limite de emissão: monóxido de carbono 10%, dióxido de enxofre 20%, dióxido de azoto 20%, partículas totais 30%, carbono orgânico total 30%, cloreto de hidrogénio 40% e fluoreto de hidrogénio 40%.

Os valores médios diários devem ser determinados a partir dos valores médios validados nos termos dispostos anteriormente. Para a obtenção de um valor um valor médio diário, quando ocorra uma situação de mau funcionamento ou de manutenção do sistema de monitorização em contínuo, não podem ser excluídos mais de cinco valores médios a intervalos de trinta minutos, durante o mesmo dia.

Não podem ser excluídos mais de 10 valores médios diários por ano devido ao mau funcionamento ou à manutenção do sistema de monitorização em contínuo.

C.3 – Outros valores limite de emissão para a atmosfera

Valores médios diários segundo anexo V do DL 85/2005, de 28 de Abril são:

- Partículas totais - 10 mg/m³;
- Substâncias orgânicas em forma gasosa e de vapor, expressas como carbono orgânico total - 10 mg/m³;
- Cloreto de hidrogénio (HCl) - 10 mg/m³;
- Fluoreto de hidrogénio (HF) - 1 mg/m³;
- Dióxido de enxofre (SO₂) - 50 mg/m³;
- Monóxido de carbono (CO) - 50 mg/m³;
- Monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO₂), expressos como dióxido de azoto relativamente a instalações de incineração existentes de capacidade nominal igual ou inferior a 6 t por hora - 400 mg/m³.

Para intervalos de 30 minutos:

	(100 %) A	(97 %) B
Partículas totais	30 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³
Substâncias orgânicas em forma gasosa e de vapor, expressas como carbono orgânico total	20 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³
Cloreto de hidrogénio (HCl)	60 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³
Fluoreto de hidrogénio (HF)	4 mg/Nm ³	2 mg/Nm ³
Dióxido de enxofre (SO ₂)	200 mg/Nm ³	50 mg/m ³
Monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO ₂) (*)	400 mg/Nm ³	200 mg/Nm ³
(*) expressos como dióxido de azoto relativamente a instalações de incineração existentes de capacidade nominal superior a 6 t por hora ou a instalações de incineração novas		

Tabela C2 – Valores médios obtidos durante o período de amostragem mínima de 30 minutos e máximo de 8 horas

C.4 - Frequência de monitorização das emissões atmosféricas

A frequência de monitorização, amostragem e medições para os diferentes parâmetros a avaliar estão representados na tabela C3 (Licença de exploração)

Este trabalho incidiu apenas na análise das emissões monitorizadas com frequência contínua.

Tabela C3 – Parâmetros, respetivos métodos e frequência.

Parâmetros	Método de amostragem	Método analítico	Frequência
CO	Medição contínua	Espectrometria de infravermelhos por transformadas de Fourier	Contínua
HCl	Medição contínua		Contínua
HF	Medição contínua		Contínua
NO ₂	Medição contínua		Contínua
SO ₂	Medição contínua		Contínua
NH ₃	Medição contínua		Contínua
COT	Medição contínua	Deteção por ionização de chama	Contínua
Partículas	Medição contínua	Optometria	Contínua
Cd+Ti	Pontual	Espectrometria de absorção atómica	Semestral
Sb+As+Pb+Cr+Co+ Cu+Mn+Ni+V	Pontual		Semestral
Hg	Pontual		Semestral

PCDD/PCDF	Pontual	Cromatografia gasosa e espectrometria de massa (alta resolução)	Semestral
-----------	---------	-----------------------------------------------------------------------	-----------

Anexo D – Valores de emissão de poluentes para a atmosfera (BREF)

Tabela D1- Nível de emissões associado ao MTD para emissões de gases mg/Nm³

Substancia(s)	Nível de emissões associado ao MTD para emissões de gases mg/Nm ³			
	Valor para amostras não contínuas	Médias de 30 minutos	Médias de 24 horas	Média anual
Poeiras totais		1 - 15	0.5 – 2.5	<2
Ácido clorídrico (HCl)		1 - 50	1 - 5	<2
Fluoreto de hidrogénio (HF)		<2	<1	<1
Dióxido de enxofre (SO₂)		0.1 - 100	0.1 - 50	0.1 – 5
Monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO₂), expresso como o dióxido de azoto, para todas as instalações com capacidade acima de 150.000 t / ano e para aquelas com capacidade abaixo de 150 mil t / ano que utilizam SCR		50 - 220	50 - 100	50 - 100
Monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO₂), expresso como o dióxido de azoto, para todas as instalações com capacidade abaixo de 150.000 t / ano e que não utilizam SCR		50 - 220	120 - 180	120 - 180

Amoníaco (NH₃)	<10	1 - 10	<5	<5
Óxido nitroso (N₂O)	<20	<20	<10	<5
Gases e vapores orgânicos (expresso em TOC)		0.1 - 20	0.1 - 10	<2
Monóxido de carbono (CO)		10 - 100	10 - 30	<15
Mercurio e seus compostos (expresso em Hg)	<0.03	<0.03	<0.02	<0.005
Cádmio e seus compostos (expresso em Cd)	<0.003			
Arsénio e seus compostos (expresso em As)	<0.001			
Chumbo e seus compostos (expresso em Pb)	<0.05			
Crómio e seus compostos (como Cr)	<0.002			
Cobalto e seus compostos (expresso em Co)	<0.002			
Cobre e seus compostos (expresso em Cu)	<0.001			
Níquel e seus compostos (expresso em Ni)	<0.002			
Cádmio total e tálio (e seus compostos expressos como metais)	<0.05		<0.05	<0.005
Σ outros metais 1	<0.5		<0.5	<0.1
Σ PCB	<0.001			<0.001

Σ PAH	<0.001			<0.001
Dioxinas e furanos (Ng TEQ / Nm ³)	<0.05			0.002 -0.05

Notas:

 Σ outros metais 1= soma de Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V e os seus compostos expressa como metais

Medidas não-contínuas são calculados sobre um período de amostragem de entre 30 minutos e 8 horas.
Períodos de amostragem são geralmente na ordem de 4-8 horas para tais medidas. Os dados são normalizados para 11% de oxigénio, gás seco, 273K e 101.3kP.

Anexo E – Metadados dos registos de operação

Tabela E1 - Metadados

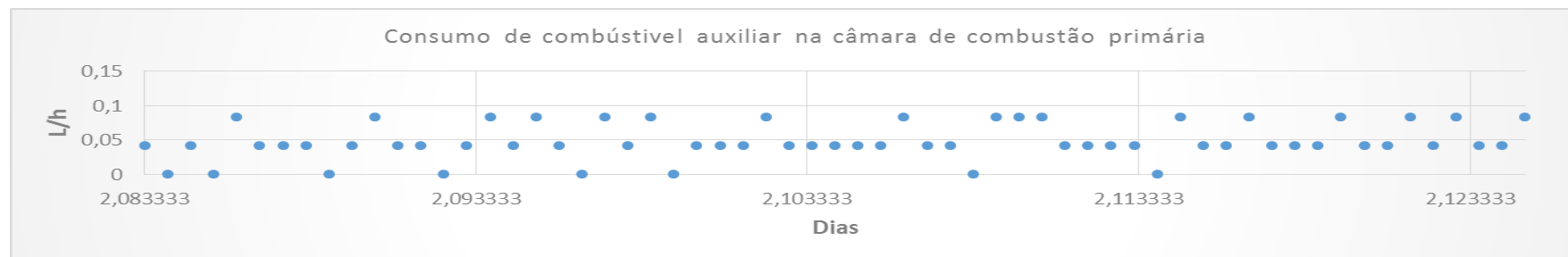
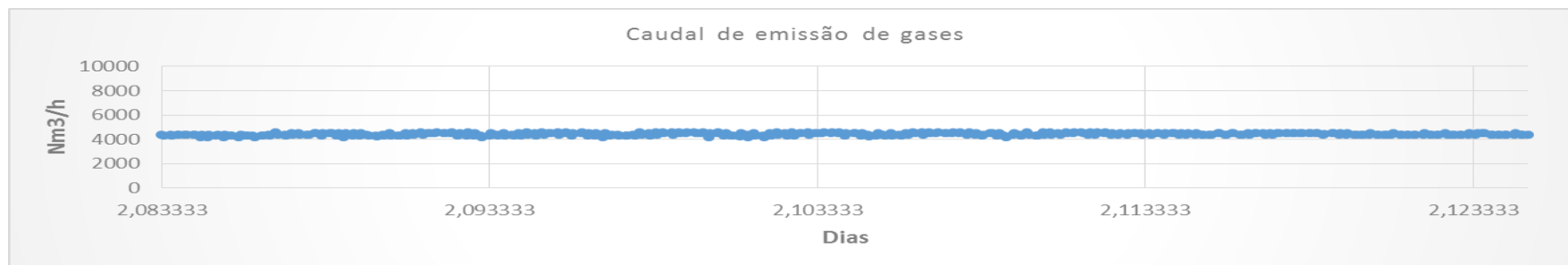
Sistema	DCS – Identificação dos registos	Descritivo	Unidades
Sistema de alimentação de resíduos	31ECA10CW001	Quantidade de resíduos registados em cada carga	kg
Câmara de combustão primária	31HHC10CT003	Temperatura da câmara de combustão das escórias	°C
	31HHC10CT001	Temperatura da câmara de combustão primária	°C
	31HHC10CP001	Pressão na câmara de combustão primária	mbar
	31HLB15CG001	Abertura da válvula de ar primário da câmara de combustão das escórias	%
	31HLB12CG001	Abertura da válvula de ar primário lateral da câmara de combustão primária	%
	31HLB11CG001	Abertura da válvula de ar primário de fundo da câmara de combustão primária	%
	31HJF20CF001	Contador de retorno do gasóleo dos queimadores da câmara de combustão primária	L
	31HJF10CF001	Contador de gasóleo dos queimadores da câmara de combustão primária	L
	31PCD41CF001	Contador de água de arrefecimento	L
Sistema de gorduras	31EGR13CL001	Nível do tanque de lamas	%
	31EGR12CP001	Pressão na linha de injeção da gordura filtrada	bar
	31EGR12CG002	Abertura da válvula de injeção da gordura (excepto lama)	%
	31EGR12CF001	Caudal de gordura injectada (excepto lama)	L/h
	31EGR11CL001	Nível do tanque de gorduras	%
	31EGR10CL001	Nível do tanque de água quente	%
Câmara de combustão	31HKC20CT002	Temperatura dos gases de combustão à saída da câmara de combustão secundária	°C
	31HKC20CT001	Temperatura dos gases de combustão á entrada da 2ª parte da câmara de combustão	°C

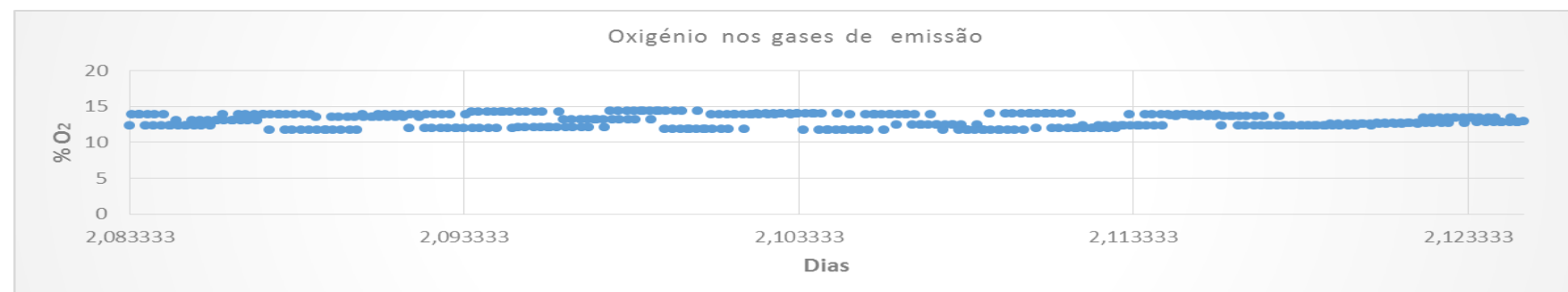
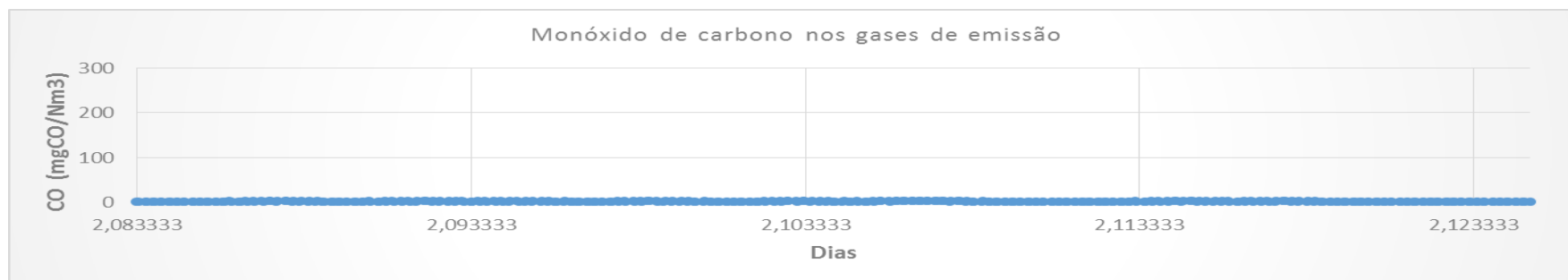
secundária		secundária	
	31HKC10CT001	Temperatura dos gases de combustão na 1ª parte da câmara de combustão secundária	°C
	31HJF30CF001	Contador de gasóleo do queimador da câmara de combustão primária	L
Sistema de Ureia	31HSJ01CP001	Pressão na linha de injeção de ureia	mbar
	31HSJ01CF001	Caudal da injeção de ureia	L/h
Permutador de calor	31HKC20CP001	Pressão dos gases de combustão à entrada do permutador de calor	mbar
	31HAD15CQ001	pH da água no permutador de calor	un.
	31HAD11CQ002	Condutividade do vapor no permutador de calor	uS/cm
	31HBK10CP001	Pressão do vapor no permutador de calor	bar
	31HNA10CT001	Temperatura dos gases de combustão à saída do permutador de calor	°C
	31HNA10CP001	Pressão dos gases à saída do permutador de calor	mbar
	31HNA10CQ001	Oxigénio nos gases após o permutador de calor	%
Sistema de água de processo	31GHS10CF001	Caudal de injeção de água de processo na linha de injeção de ureia	L/h
Sistema de leite de cal	31HRJ10CF001	Caudal de injeção do leite de cal	m3/h
Tratamento dos gases	31HTD10CT001	Temperatura dos gases o depurador de gases e o filtro de mangas	°C
	31HTD10CP001	Pressão dos gases entre o depurador de gases e o filtro de mangas	mbar
	Diff_Pressure_SprayAbsorber	Diferencial de pressão entre a entrada e saída dos gases no depurador de gases	mbar
	31GHS30CF001	Contador de água de arrefecimento do depurador de gases	L
	31HNA20CT001	Temperatura dos gases à saída do filtro de mangas	°C
	31HNA20CP001	Pressão dos gases após o filtro de mangas	mbar

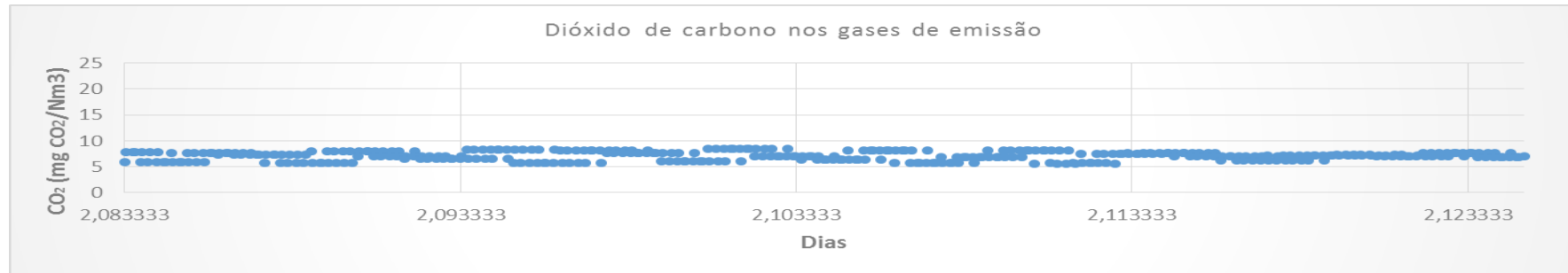
Chaminé	31HNA30CT001	Temperatura dos gases na chaminé	°C
	31HNA30CQ001	HCL nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ002	SO2 nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ003	Partículas nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ004	NOx nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ005	CO nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ006	COT nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ007	O2 nos gases na chaminé	%
	31HNA30CQ008	NH3 nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ009	H2O nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ010	HF nos gases na chaminé	mg/Nm3
	31HNA30CQ011	CO2 nos gases na chaminé	%
	31HNA30CP001	Pressão nos gases na chaminé	mbar
	31HNA30CF001	Caudal nos gases na chaminé	Nm3/h
	31/32HNC10AN001_freq	Frequência do IDF	hz

Anexo F – Operação da instalação para o período noturno (entre as 2:00 e a 3:00 horas)

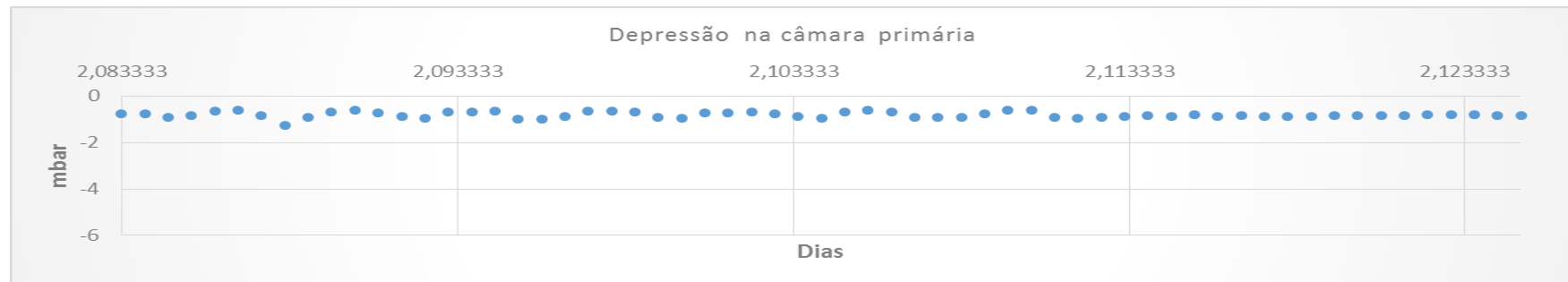
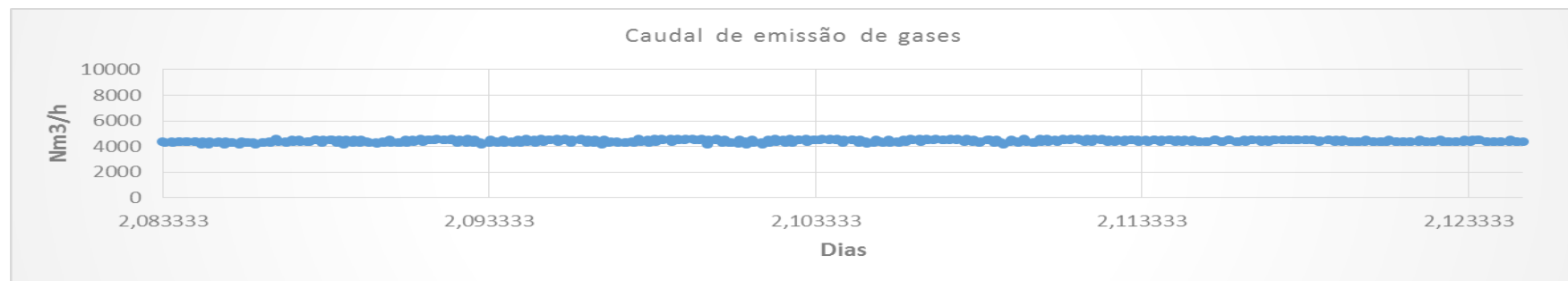
Emissões CO/O₂/CO₂/Caudal de gases/Consumo de combustível auxiliar





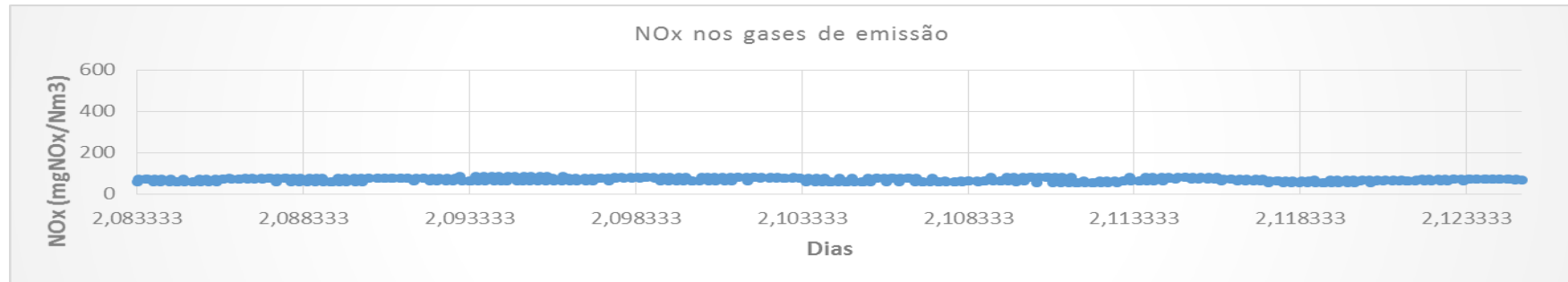


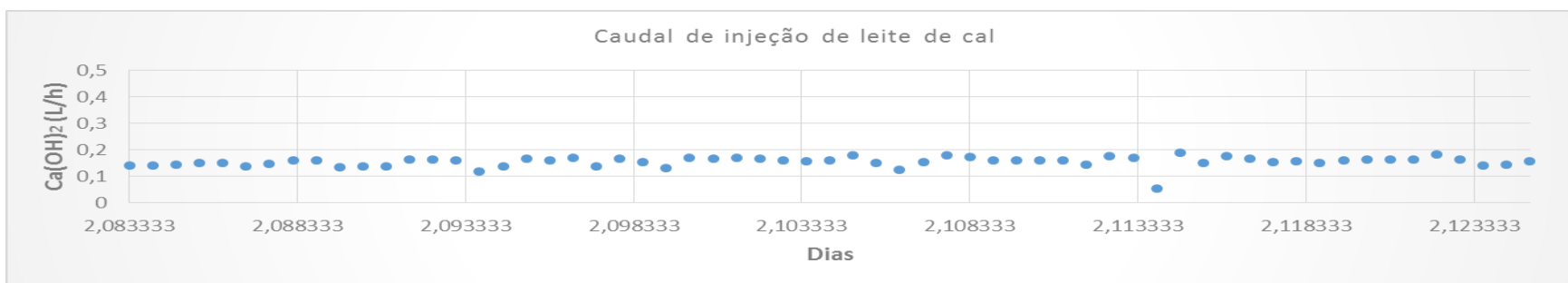
Caudal de gases/depressão na câmara combustão primária/entradas de ar





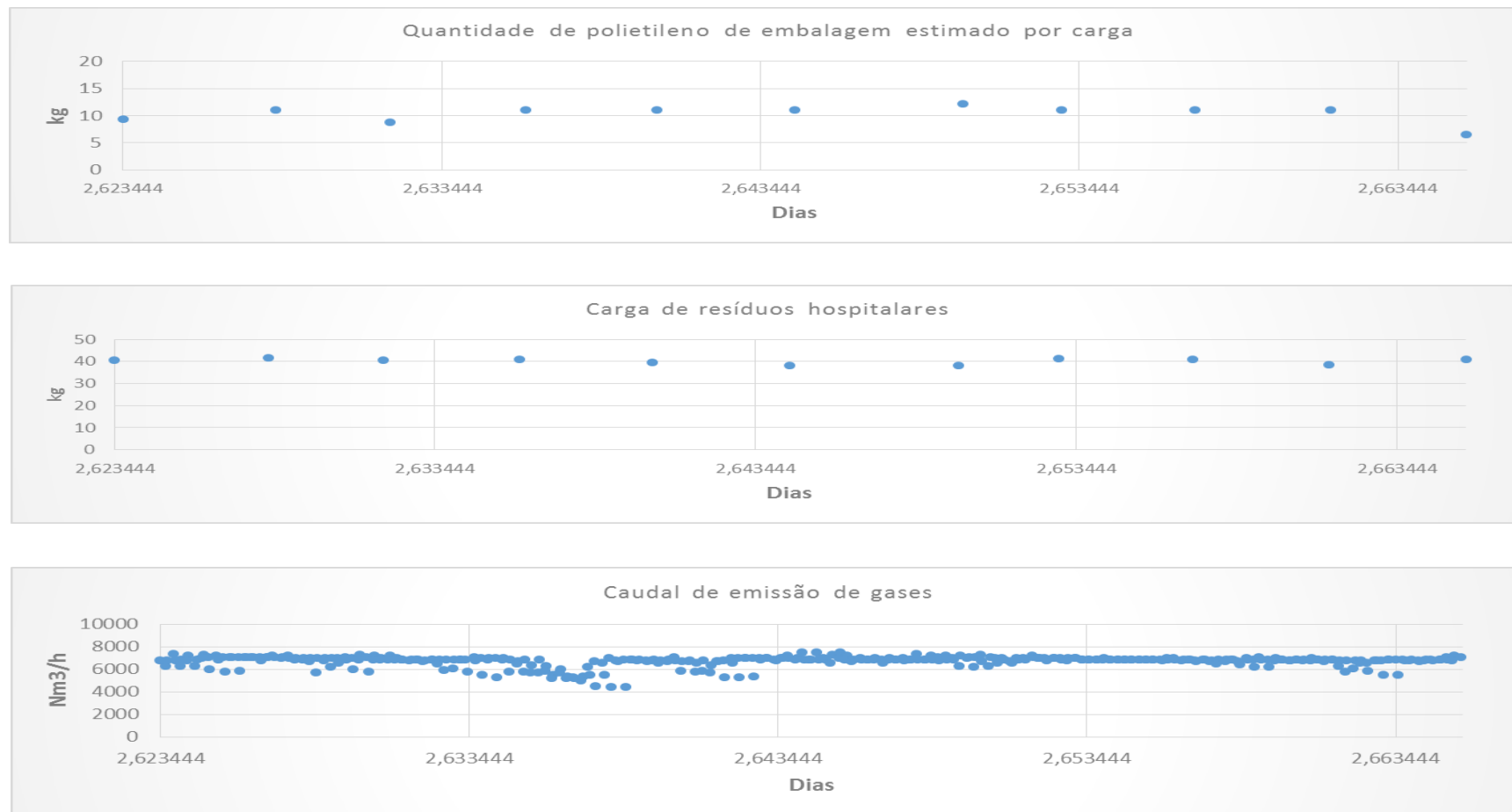
Emissões NOx/consumo de ureia/água utilizada na injeção de ureia

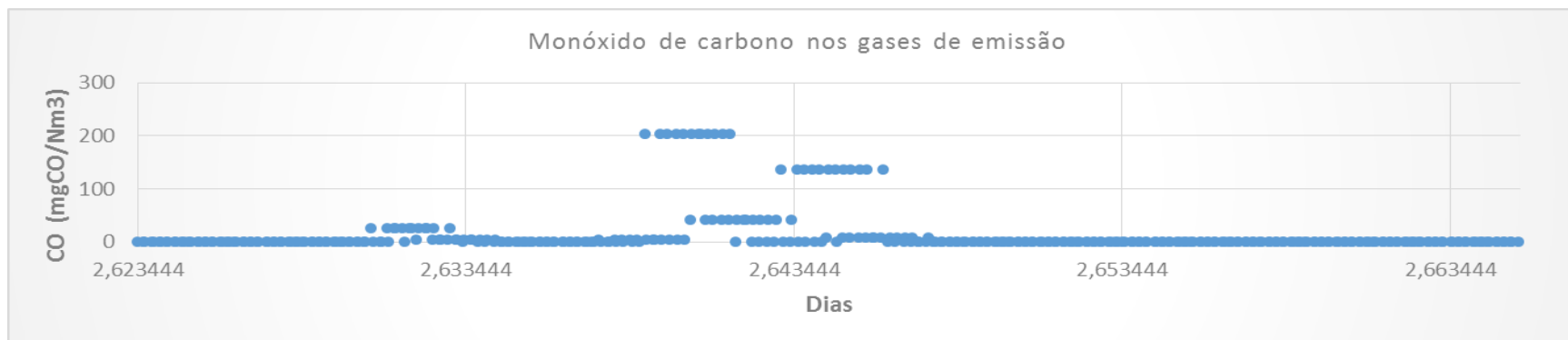


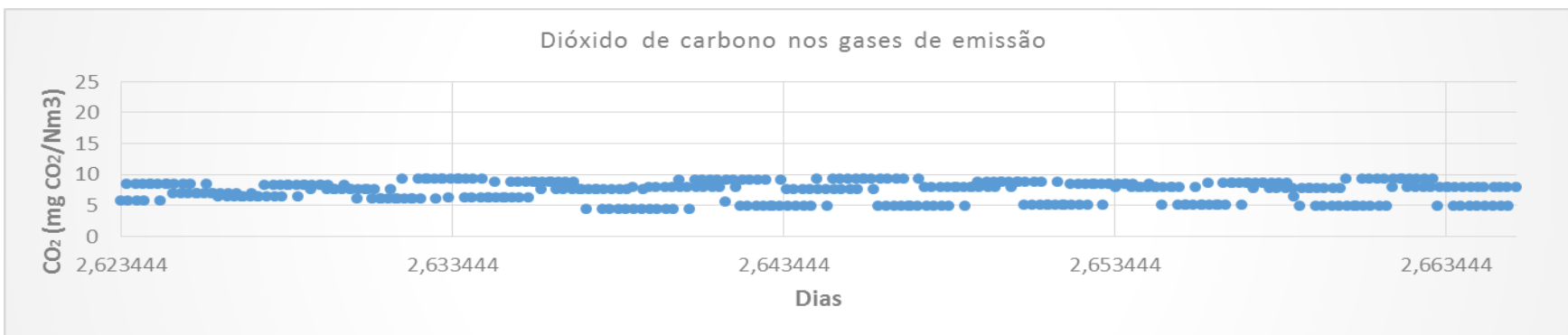
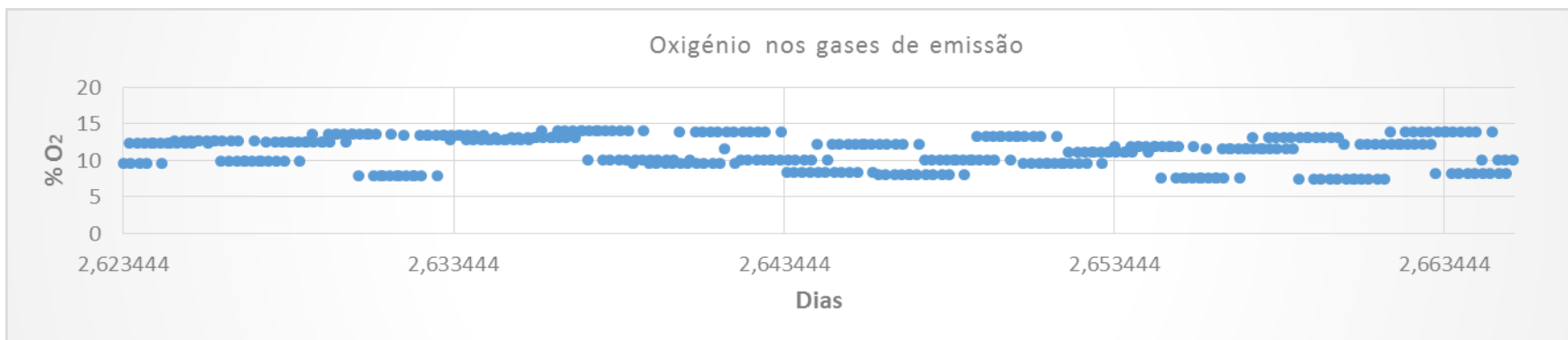
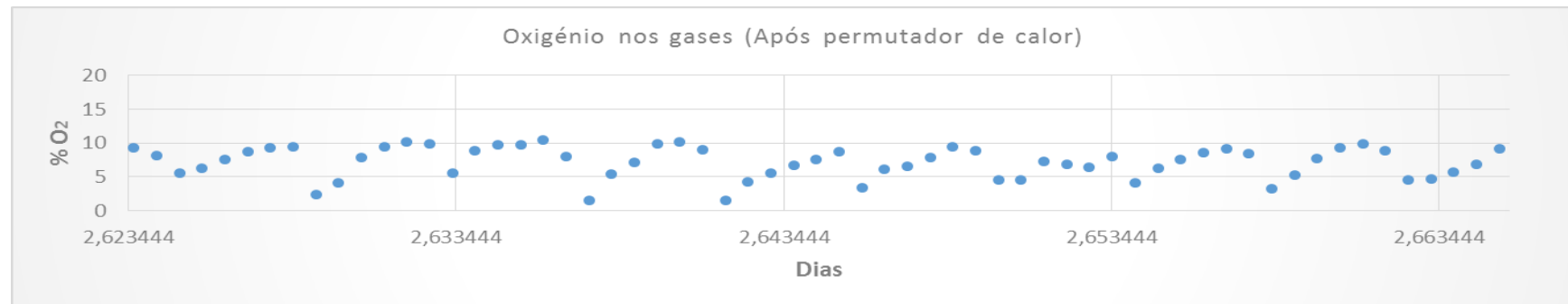
Emissões de HCl/ consumo de leite de cal

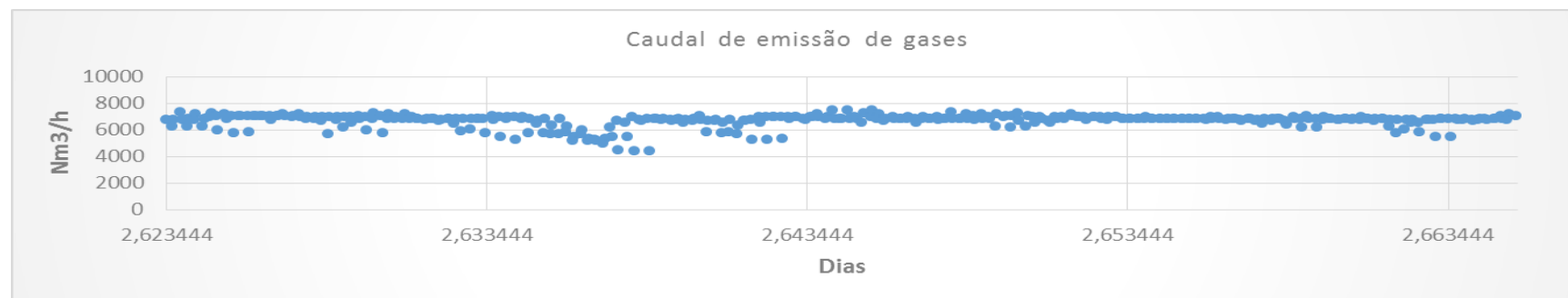
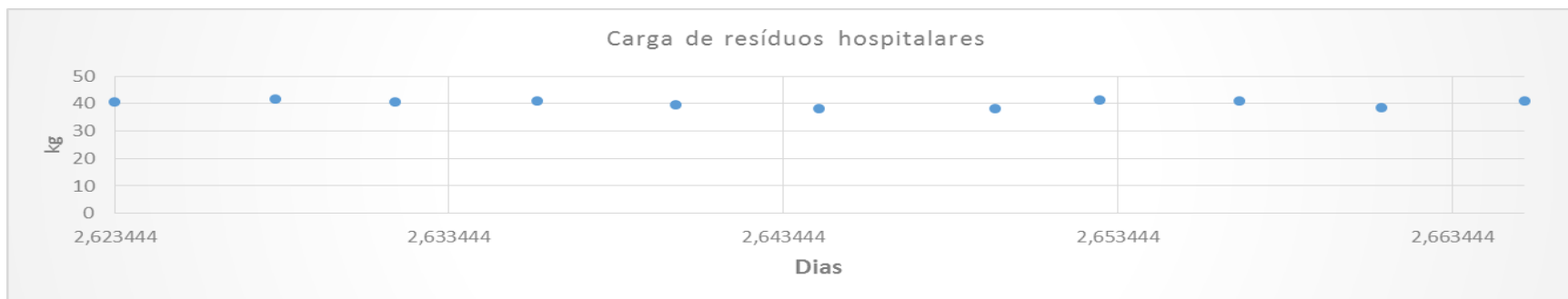
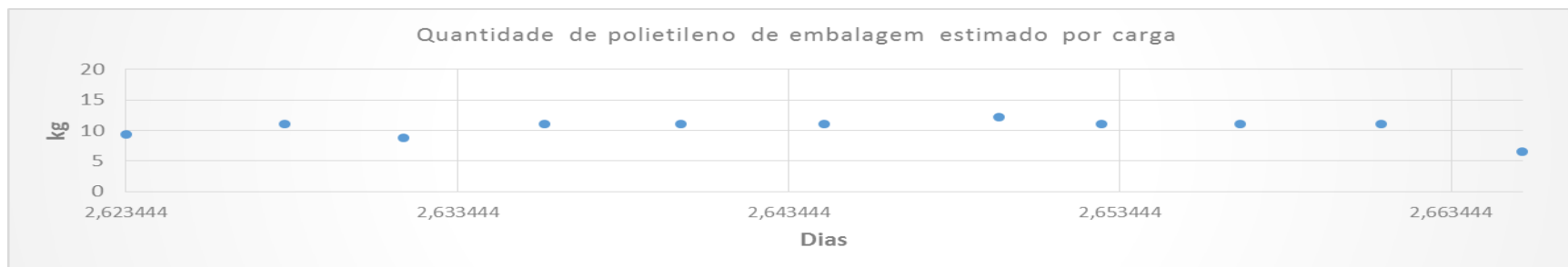
Anexo G – Operação da instalação para incineração de RH (entre as 14:00 e as 15:00 horas, do dia 2) (L32)

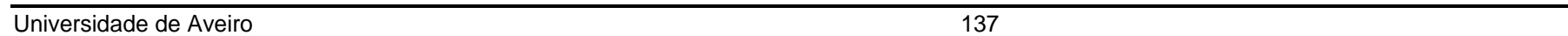
Cargas Vs Emissões CO/O₂/CO₂/Caudal de gases/Consumo de combustível auxiliar

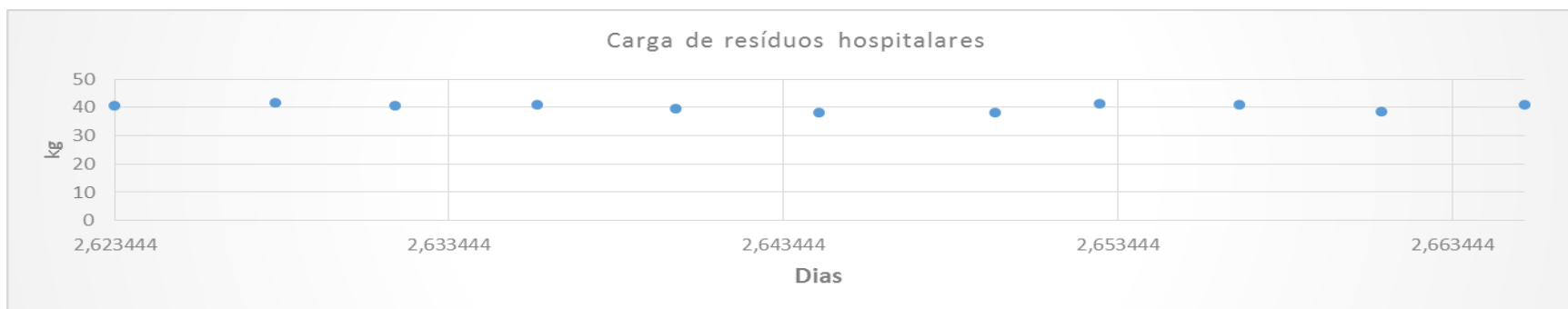
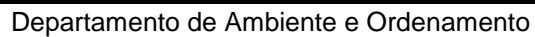


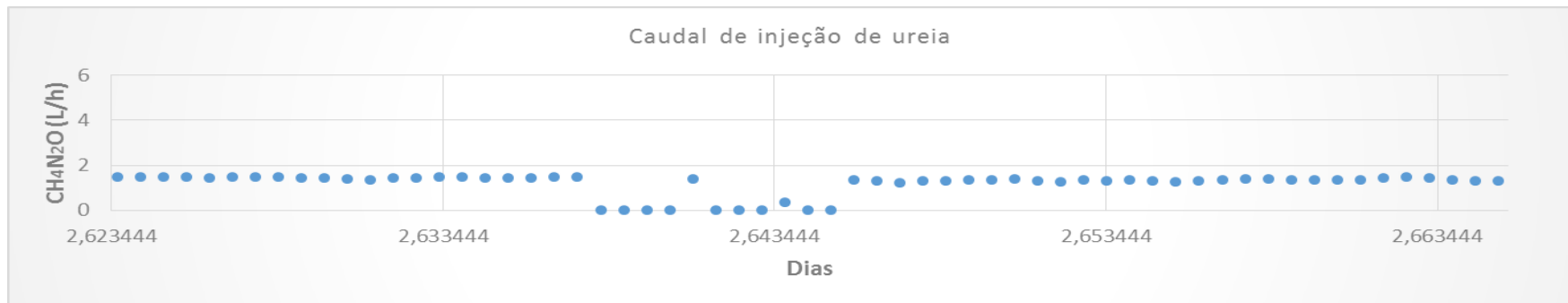
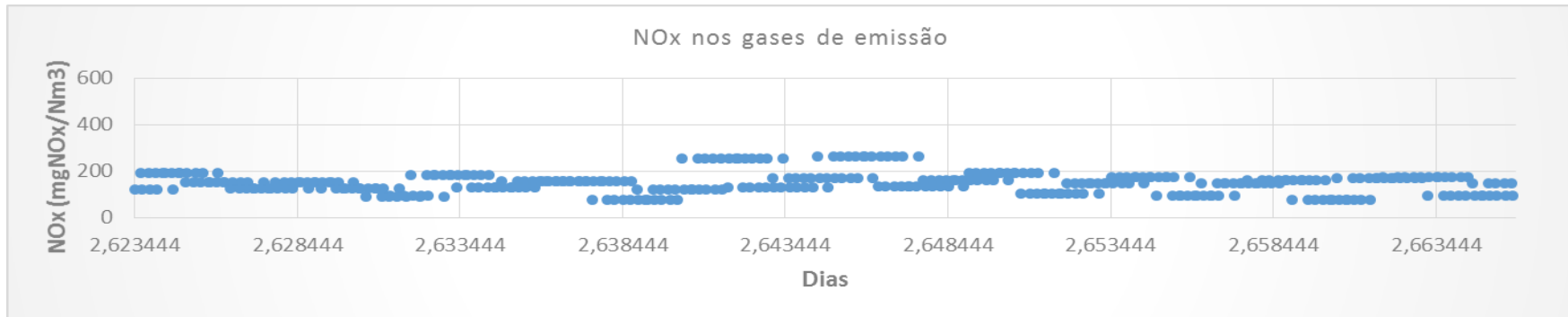


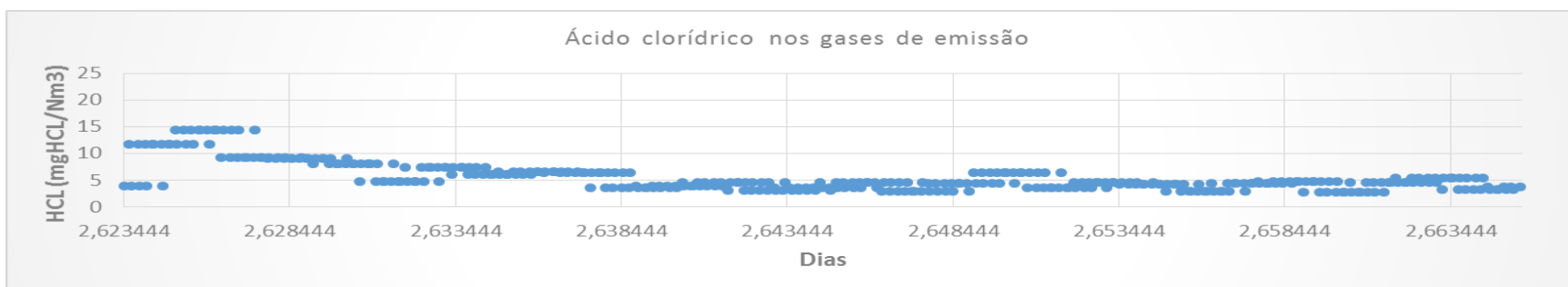
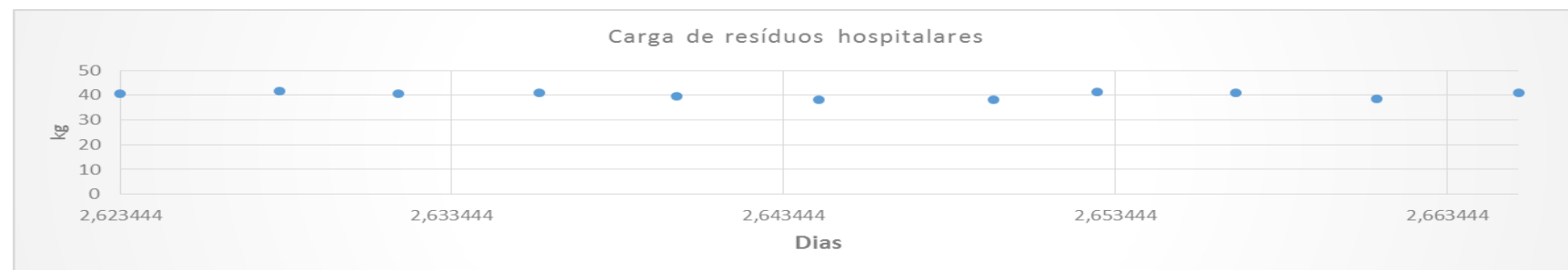
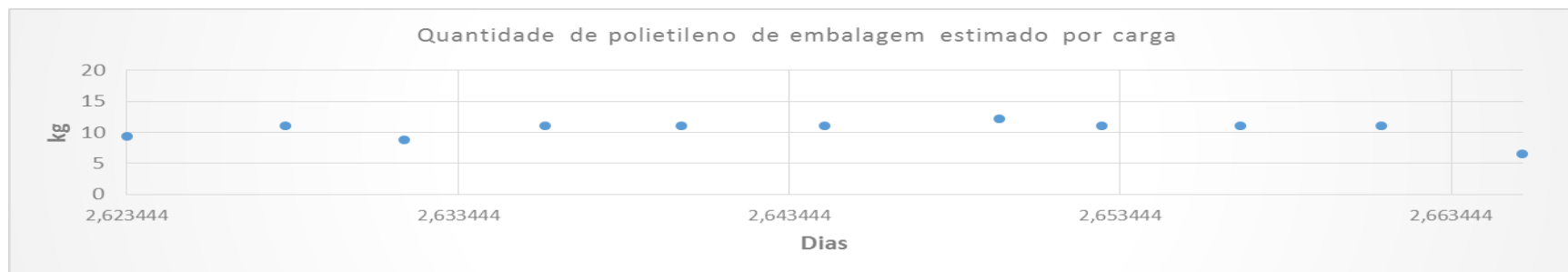


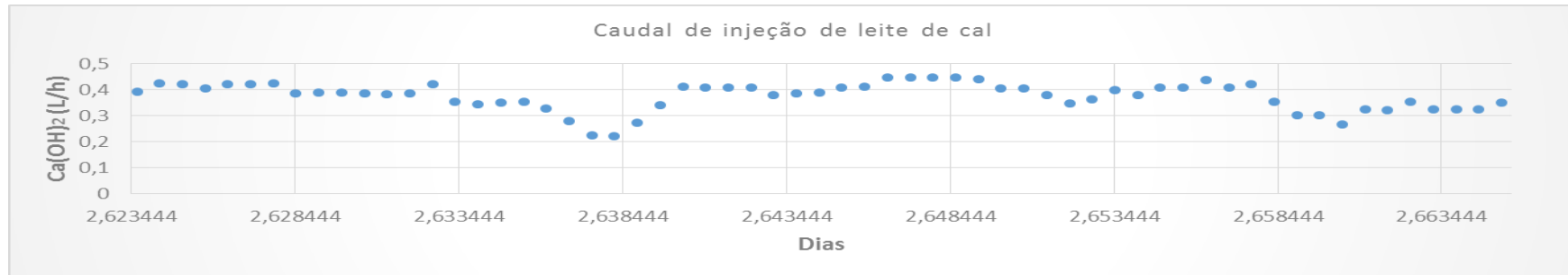
Cargas Vs caudal de gases/depressão na câmara combustão primária/entradas de ar





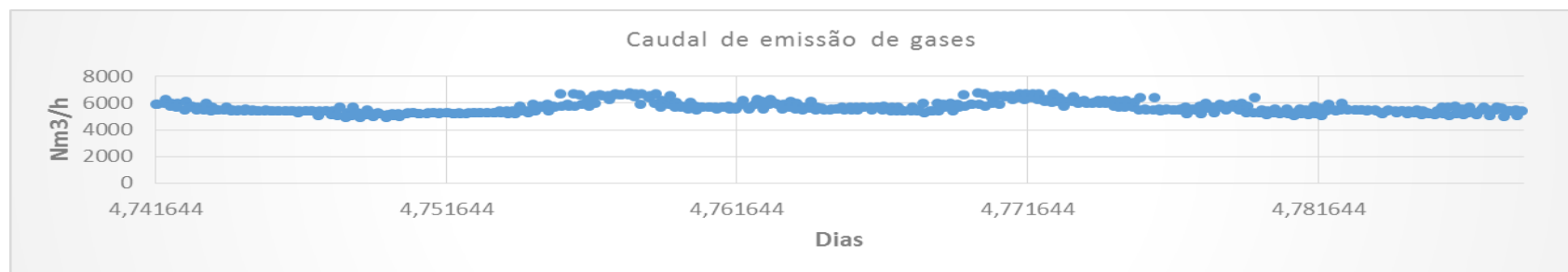
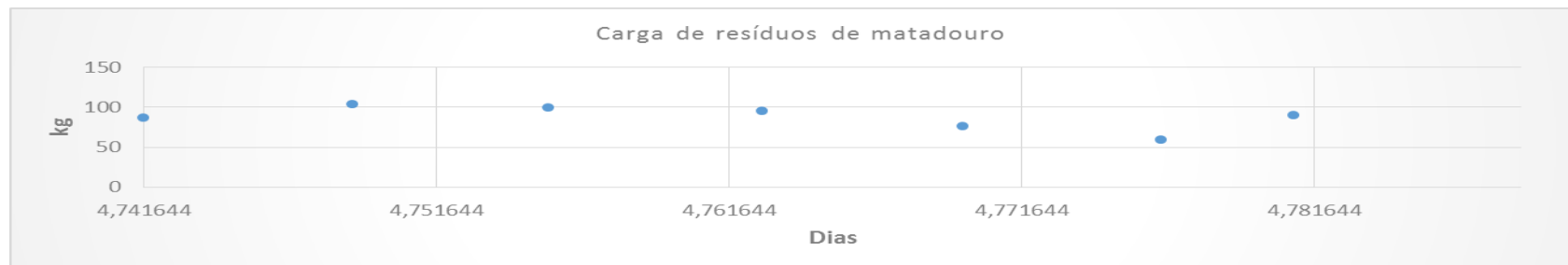
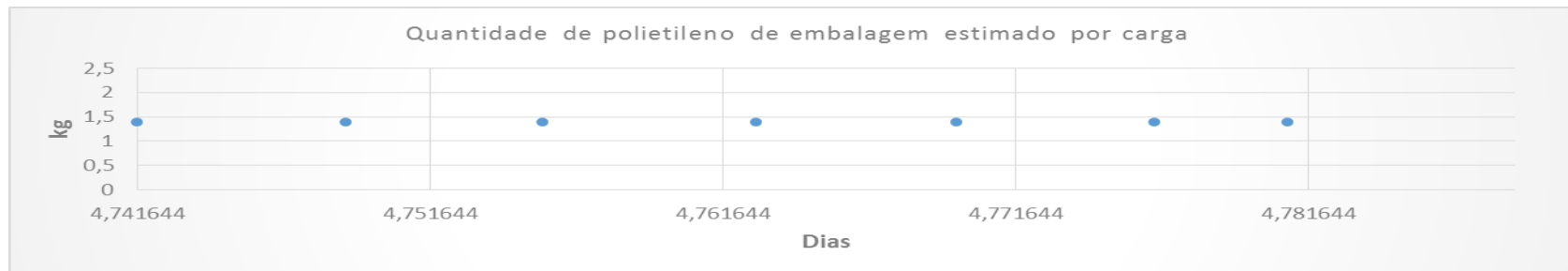


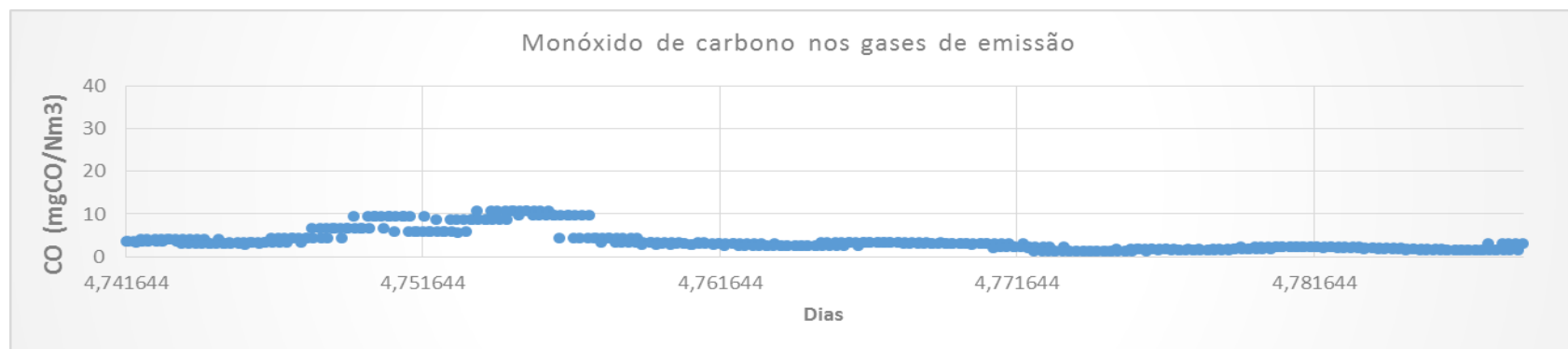
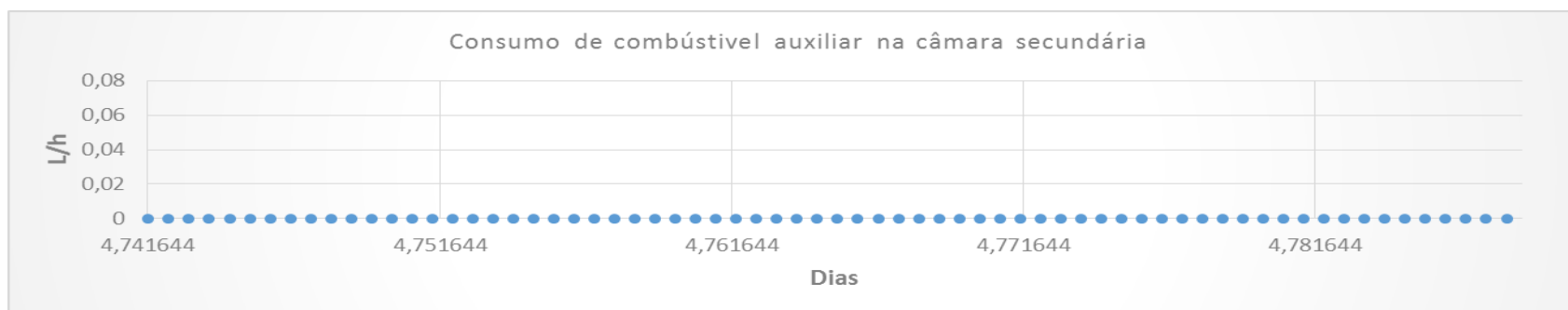
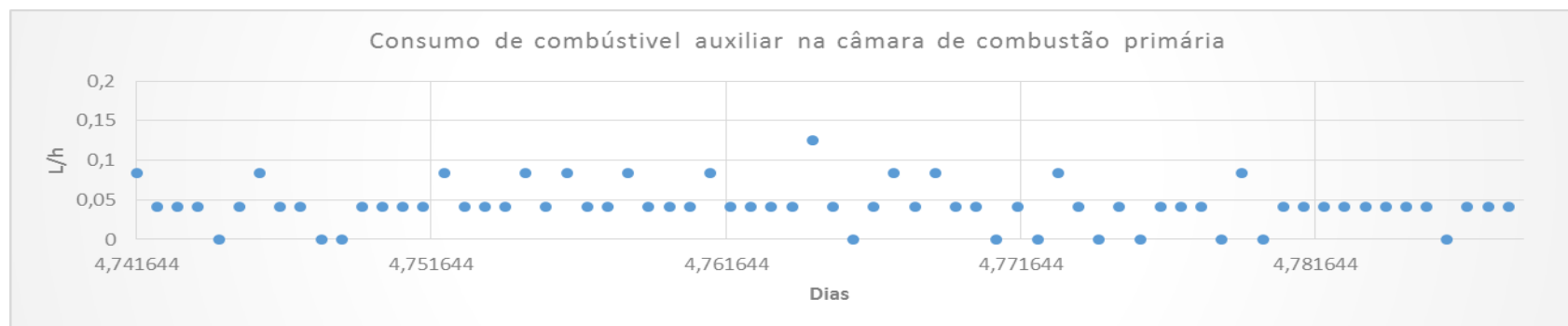
Cargas Vs Emissões de HCL/ consumo de leite de cal

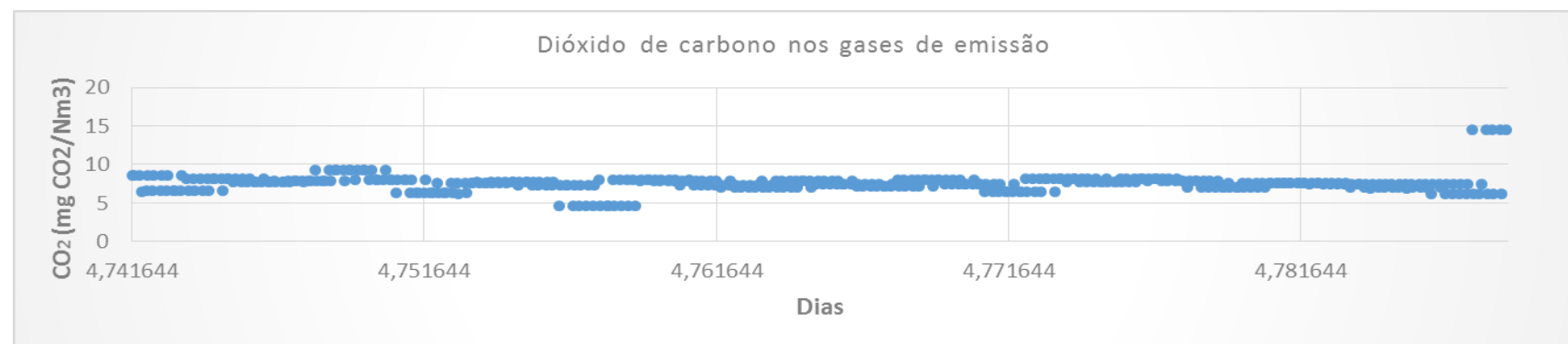
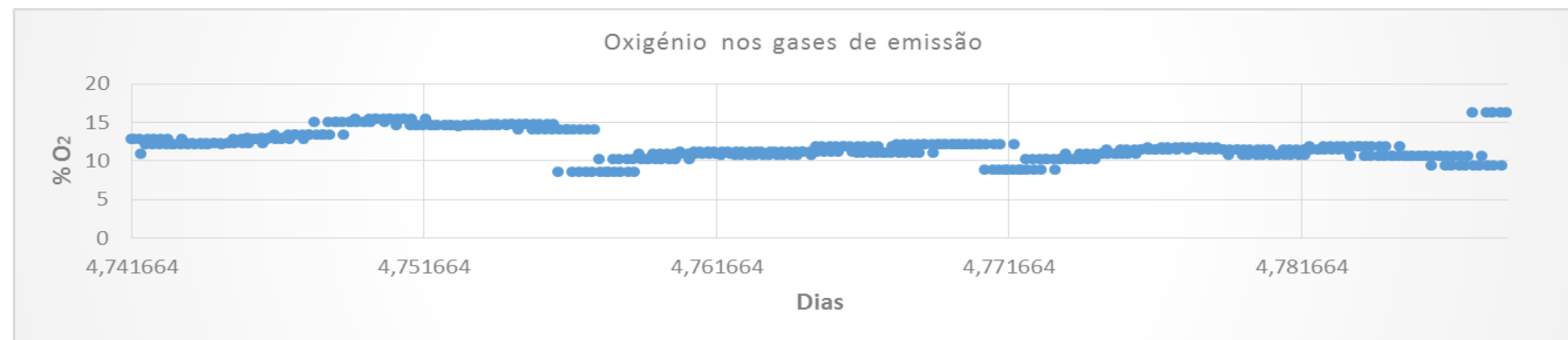
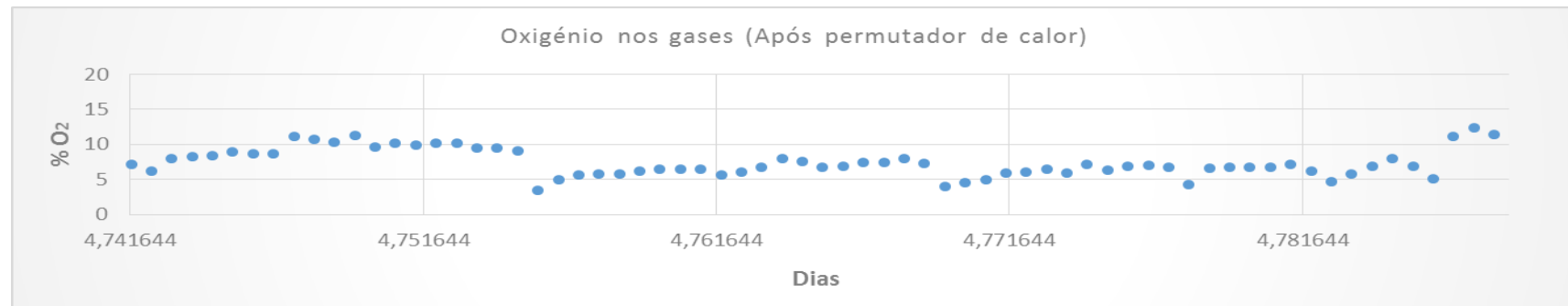


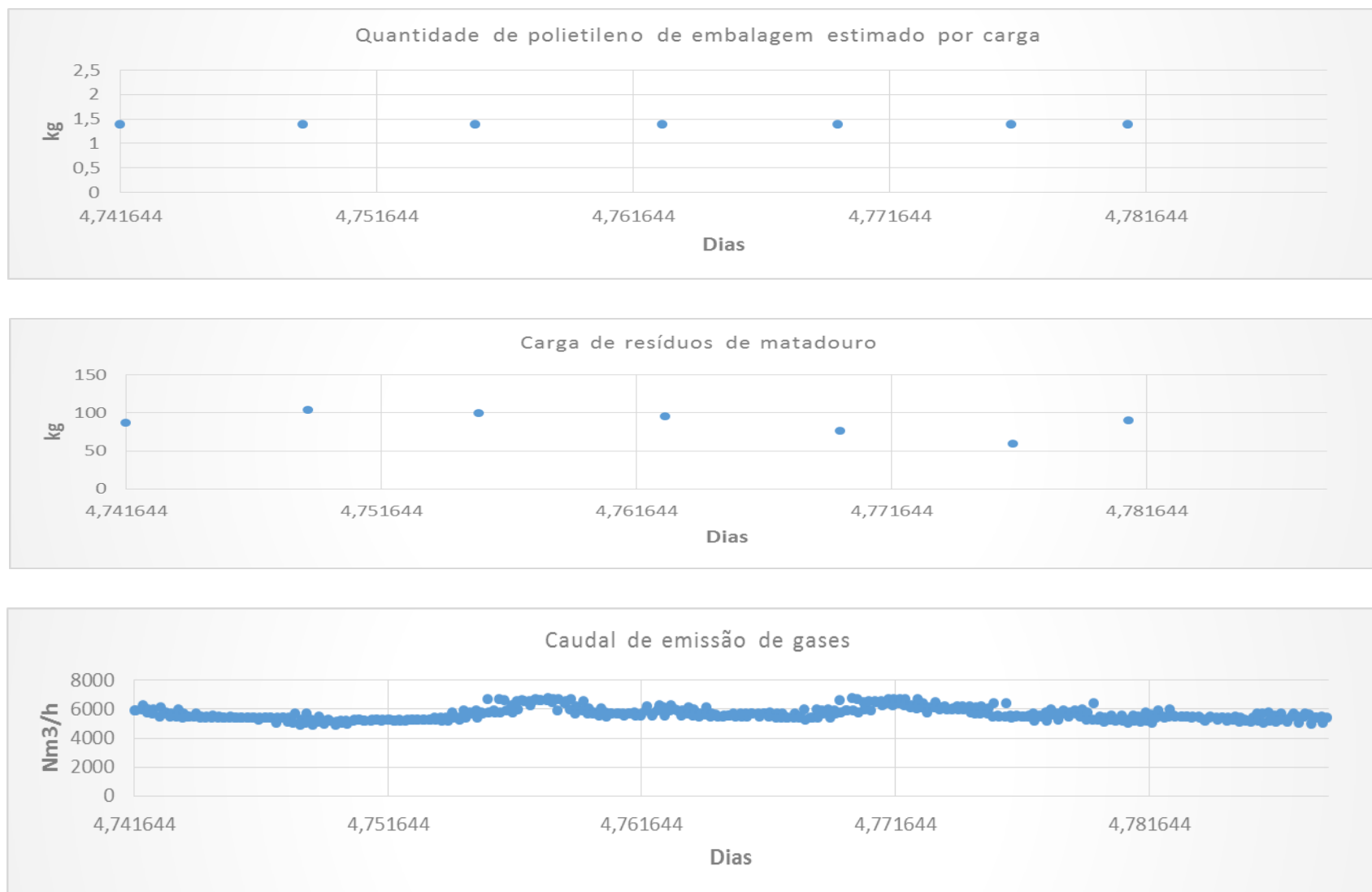
Anexo H – Operação da instalação para a incineração de RM no período diurno (entre as 18:00 e as 19:00 horas, do dia 4) (L32)

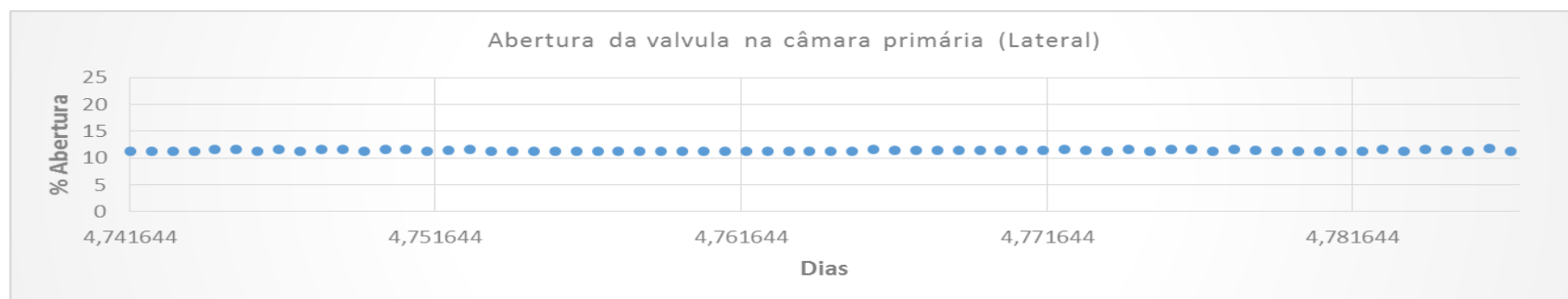
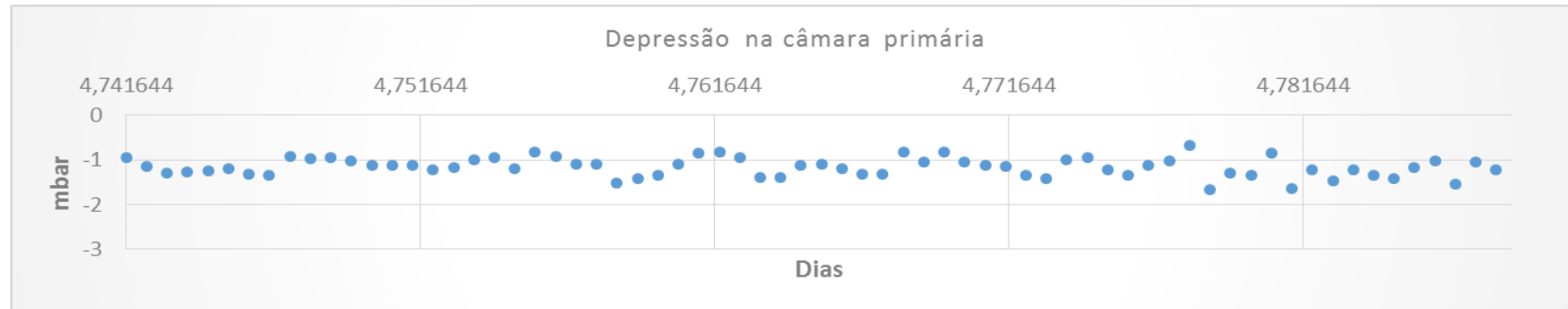
Cargas Vs Emissões CO/O₂/CO₂/Caudal de gases/Consumo de combustível auxiliar

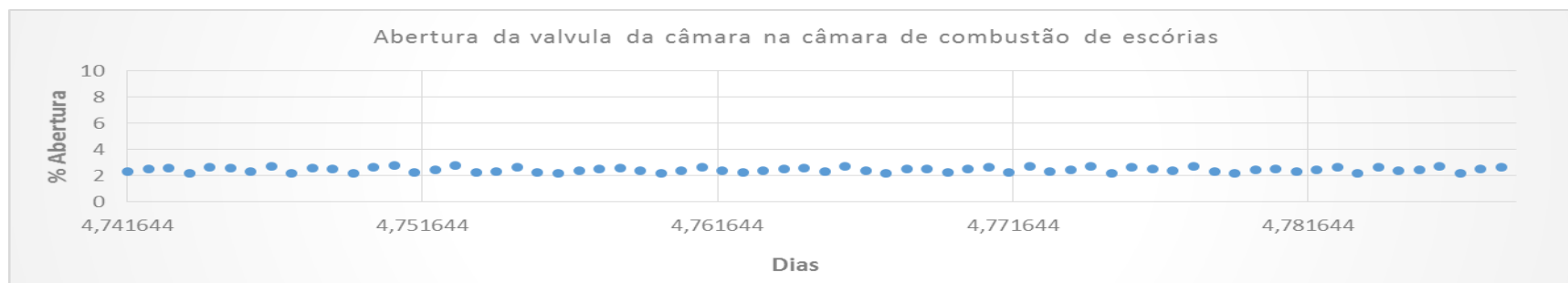




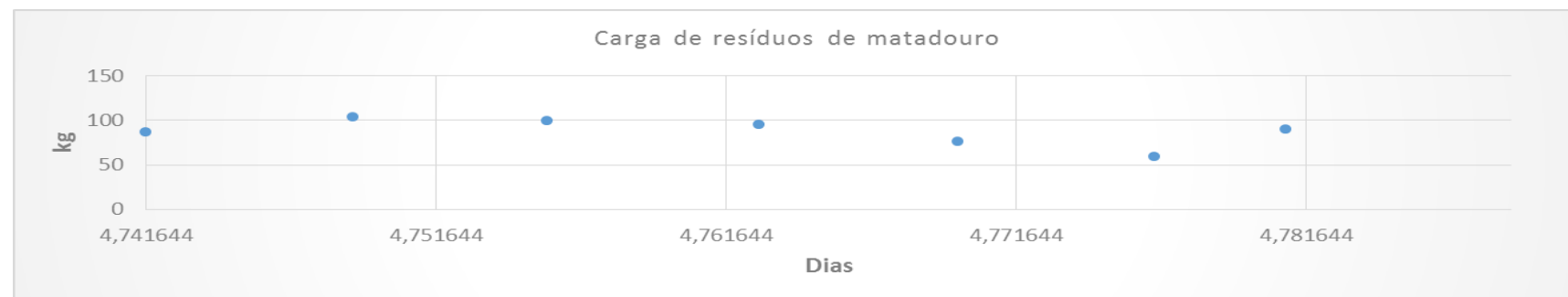
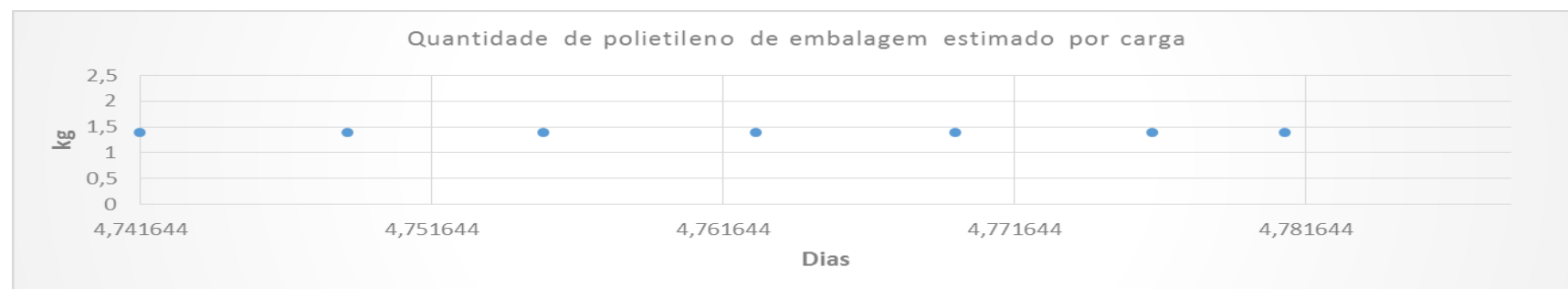


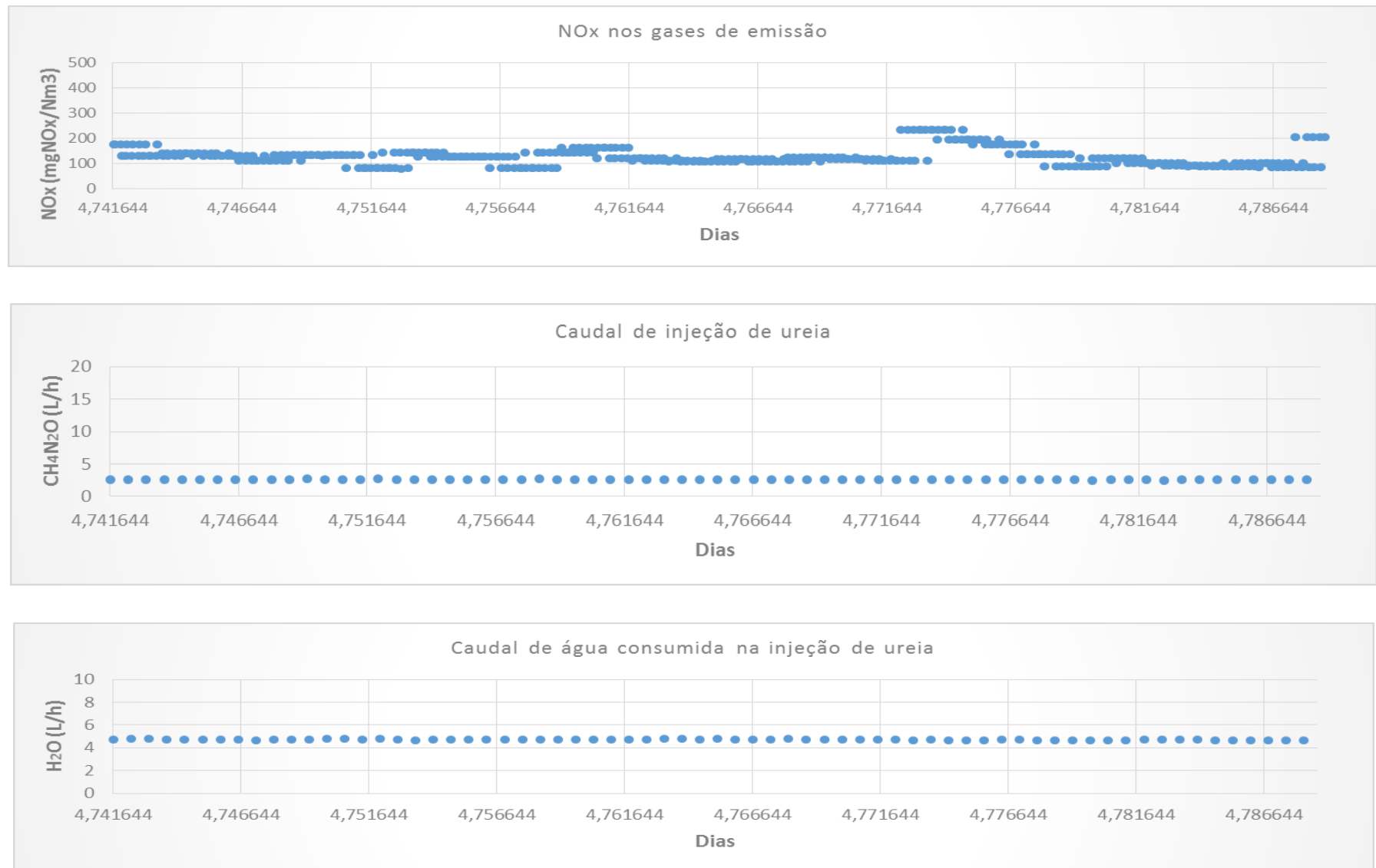
Cargas Vs caudal de gases/depressão na câmara combustão primária/entradas de ar





Cargas Vs emissões NOx/consumo de ureia/água utilizada na injeção de ureia





Cargas Vs Emissões de HCL/ consumo de leite de cal